



TUGAS AKHIR - TM 141585

**ANALISIS KEGAGALAN PADA POROS POMPA
SENTRIFUGAL *SEMI-LEAN BENFIELD* 107 JA
DENGAN MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT
ANALYSIS***

(Studi Kasus: PT Petrokimia Gresik)

ROMARIO JULION SIANTURI
NRP 2112 100 117

Dosen Pembimbing
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



FINAL PROJECT - TM 141585

**FAILURE ANALYSIS OF SEMI-LEAN BENFIELD
107 JA CENTRIFUGAL PUMP SHAFT
USING FINITE ELEMENT ANALYSIS
(Case Study: PT Petrokimia Gresik)**

ROMARIO JULION SIANTURI
NRP 2112 100 117

Advisor
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018

**ANALISIS KEGAGALAN PADA POROS POMPA
SENTRIFUGAL SEMI-LEAN BENFIELD 107 JA DENGAN
MENGUNAKAN FINITE ELEMENT ANALYSIS
(Studi Kasus: PT Petrokimia Gresik)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

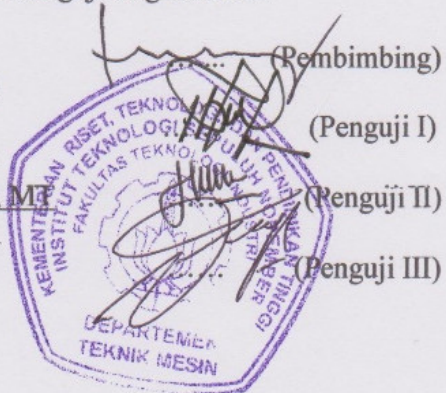
Oleh :

ROMARIO JULION SIANTURI

NRP. 2112 100 117

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc
NIP. 196303141988031002
2. Ir. Sampurno, MT
NIP. 196504041989031002
3. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT
NIP. 198604012015041001
4. Dinny Harnany, ST, MSc
NIP. 2100201405001



**SURABAYA
JANUARI, 2018**

**ANALISIS KEGAGALAN PADA POROS POMPA
SENTRIFUGAL SEMI-LEAN BENFIELD 107 JA DENGAN
MENGUNAKAN FINITE ELEMENT ANALYSIS
(Studi Kasus: PT Petrokimia Gresik)**

Nama Mahasiswa : Romario Julion Sianturi
NRP : 2112100117
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

ABSTRAK

PT Petrokimia Gresik dalam memproduksi amoniak sering mengalami gangguan pada pompa 107 JA akibat kerusakan pada poros pompa 107 JA. Berdasarkan data yang terjadi dilapangan pada tahun 2017 sudah terjadi empat kali pergantian poros dengan jangka waktu relatif pendek. Kerusakan yang tercatat pernah terjadi adalah retak, patah dan bengkok pada poros pompa 107 JA. Untuk itu diperlukan analisis lebih lanjut tentang penyebab kegagalan pada poros. Dalam penelitian ini analisis penyebab kegagalan akan difokuskan pada bentuk pola patahan dan pembebanan yang diterima oleh poros.

Penelitian ini diawali dengan studi lapangan dan identifikasi permasalahan yang ada, dengan mempelajari cara kerja pompa 107 JA serta bentuk dari patahan poros. Dilanjutkan dengan mengumpulkan data historis dari pompa 107 JA. Data-data tersebut berupa dokumentasi pola patahan, data historis kerusakan yang pernah terjadi pada pompa 107 JA dan spesifikasi dari pompa 107 JA baik itu desain maupun materialnya. Kemudian mempelajari literatur-literatur yang berhubungan dengan kasus yang serupa, lalu mulai dilakukan analisis pada kerusakan yang ada. Analisis dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan pengamatan pola patahan secara visual dan cara kedua menggunakan simulasi. Penggunaan simulasi dimulai dari perhitungan analitis torsi poros yang diterima pada kondisi aktual. Kemudian desain poros di modelkan secara 3D dilanjutkan

dengan dilakukan simulasi menggunakan finite element analysis software. Setelah dilakukan kedua analisis diatas, dilakukan analisis data dan pembahasan hasil dari simulasi, yang kemudian dapat diambil kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

Hasil yang diperoleh pada pengamatan secara visual adalah kerusakan yang terjadi pada poros pompa Benfield 107 JA terjadi dikarenakan patah fatigue yang ditunjukkan dengan adanya crack propagation pada pola patahan. Hasil tegangan maksimum yang diperoleh dari cycles poros hingga mengalami fracture adalah 655 MPa. Nilai ini sama dengan tegangan fatigue limit material 17-4 PH sebesar 655 MPa. Kemudian dilakukan analisis FEA dengan software finite element didapatkan bahwa material mengalami fracture dengan tegangan sebesar 655,28 MPa dan regangan 0,003372 mm/mm saat poros terdefleksi sejauh 0,2793 mm.

Kata kunci : Poros, Finite Element Analysis

**FAILURE ANALYSIS OF SEMI-LEAN BENFIELD
107 JA CENTRIFUGAL PUMP SHAFT USING
FINITE ELEMENT ANALYSIS
(Case Study: PT Petrokimia Gresik)**

Name	: Romario Julion Sianturi
NRP	: 2112100117
Department	: Teknik Mesin FTI-ITS
Supervisor	: Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

ABSTRACT

Production process of ammonia at PT Petrokimia Gresik is often interrupted by 107 JA pump due to the failure of 107 JA pump shaft. According to reported field data in 2017 there has been four shaft replacement reported with a relatively short amount of time. The recorded failure ever occurred was cracked, broken and bent on the 107 JA pump shaft. Further analysis of failure of the pump shaft is required. In this research, failure causation analysis will be focused on the fracture pattern form and the load received by the shaft.

This research started with a field study and problem identification by learning about the work mechanism of 107 JA pump on CO₂ removal process and the form of shaft fracture. Followed by collecting the historical data of the 107 JA pump. The particular data is a documentation of the fracture pattern, historical data of 107 JA pump failures and specification of JA 107 pump on both the design and the material. The literature related to the same case is learned, and the analysis of the failure started. Analyzing process has been done in two ways, an observation of fracture pattern visually and by using simulation. The use of simulation begin with torsion analytic calculation received on actual condition. Then shaft design modeled in 3D after that run simulation using finite element analysis software. After the two analyzing process above, the data was analyzed and the result of

the simulation was discussed. Finally the conclusion and suggestion of the research was made.

The result of the visual observation is that the failure on the shaft of the 107 JA Benfield pump occurred because of the fatigue fracture showed by a crack propagation found on the fracture pattern. The maximum stress received by the shaft cycles to causing fracture is 655 MPa. This value is equal with the 17-4 PH fatigue limit material in the amount of 655 MPa. Then the FEA analysis by finite element software obtained that the material can have fracture with a stress amount of 655,28 MPa dan a strain amount of 0,003372 mm/mm during the deflection of the shaft as far as 0,2793 mm.

Keyword : Shaft, Finite Element Analysis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan karunia-Nya penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Tugas akhir ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin FTI ITS. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak dan Mama tercinta, Selamat Tua Sianturi dan Suryani Marpaung yang selalu memberikan doa dan dukungan yang begitu besar.
2. Bapak Ir. Witantyo, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang membimbing penulis dengan penuh kesabaran.
3. Bapak Ari Kurniawan, ST., MT., Ibu Dinny Harnany, ST., M.Sc., dan Bapak Ir. Sampurno, MT selaku dosen penguji.
4. Bapak Sufaidi, Bapak Dimas, Bapak Angga, Mas Adhit, Mas Yudha dan Mas Rahman selaku pihak dari PT. Petrokimia Gresik yang telah membimbing dan membantu dalam pengambilan data.
5. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu penulis atas pengetahuan dan pembelajaran yang telah diberikan.
6. Nana Moscowry Adisti Margaretta Pardede yang selalu bersedia memberikan motivasi dan mendengarkan curahan hati penulis.
7. Nabil, Delia, Diastanto, Rexa, Bramantio, Anna, Putri yang berjuang bersama di Laboratorium Rekayasa Sistem Industri dan teman-teman Teknik Mesin angkatan 2012 (M55) yang telah berbagi pengalaman selama di bangku perkuliahan.

Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan maka penulis bersedia menerima kritik dan saran untuk penelitian yang lebih baik.

Surabaya 8 Januari 2018
Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Proses CO ₂ Removal.....	9
2.2 Pembebanan pada Poros Pompa.....	11
2.3 Kegagalan-Kegagalan pada Poros Pompa.....	12
2.3.1 <i>Bending Fatigue</i>	13
2.3.2 <i>Torsional Fatigue</i>	16
2.4 Material <i>Stainless Steel</i> 17-4 PH	17
2.5 Larutan <i>Benfield</i>	19

2.6 <i>Failure Analysis</i>	19
2.7 Penelitian Terdahulu.....	20
2.7.1 <i>Finite Element Analysis of Shaft of Centrifugal Pump</i> ..	20
2.7.2 Analisa Kerusakan <i>Shaft Stainless Steel</i> 17-4 PH pada Pompa Sentrifugal 107-JC di Pabrik 1 Amoniak PT Petrokimia Gresik	22
2.7.3 Analisa Kegagalan Poros Pompa <i>Centrifugal Multistage</i> (GA101A) Sub Unit Sintesa Urea PT Petrokimia Gresik	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Spesifikasi Pompa 107 JA	27
3.2 Flowchart Penelitian.....	28
3.3 Metodologi Penelitian	29
3.4 Langkah-langkah <i>Finite Element Analysis</i> (FEA).....	30
BAB IV ANALISIS PERMASALAHAN.....	33
4.1 Data Awal Kerusakan.....	33
4.2 Umur Poros berdasarkan Waktu Operasi	39
4.2.1 Umur Poros berdasarkan Waktu Operasi periode 18 April - 10 Juni 2017	40
4.2.2 Umur Poros berdasarkan Waktu Operasi periode 10 Juni - 11 Juli 2017	41
4.2.3 Umur Poros berdasarkan Waktu Operasi periode 11 Juli - 17 Juli 2017	41
4.3 Permodelan 3D Poros Pompa 107 JA.....	42

4.3.1 Input Nilai Mechanical Properties Material	42
4.3.2 Meshing	43
4.3.3 <i>Boundary Condition Finite Element Analysis</i>	44
4.3.4 Hasil FEA dengan Pembebanan Torsi 1929,2 Nm.....	45
4.4 Analisis Poros dengan pengaruh Momen Bending	47
4.5 Analisis FEA dengan pengaruh Momen Bending	49
4.5.1 Hasil FEA dengan Pembebanan 1000 KN	50
4.5.2 Hasil FEA dengan Pembebanan 1381 KN	55
4.5.3 Perbandingan Pembebanan 1000 KN dan 1381 KN	60
4.6 Pembahasan Hasil Analisis	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN.....	67

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Grafik Kecepatan Vibrasi Vertikal Point 3 dan 4....	2
Gambar 1.2	<i>Cross Sectional Drawing Semi-lean Benfield Pump</i> 107 JA	3
Gambar 1.3	Penampang patahan pompa 107 JA	4
Gambar 1.4	<i>Fatigue Fracture</i> akibat Torsi.....	5
Gambar 2.1	Diagram alir CO ₂ removal.....	9
Gambar 2.2	Letak konsentrasi tegangan pada poros	11
Gambar 2.3	<i>Bending fatigue</i> akibat <i>unidirectional bending</i>	13
Gambar 2.4	Pola patahan <i>beach mark</i>	14
Gambar 2.5	<i>Bending fatigue</i> akibat <i>reversed bending</i>	14
Gambar 2.6	<i>Bending fatigue</i> akibat <i>rotating bending</i>	15
Gambar 2.7	Pola patahan akibat <i>torsional fatigue</i>	16
Gambar 2.8	Perbandingan pola patahan	17
Gambar 2.9	<i>Drawing</i> poros	21
Gambar 2.10	<i>Dynamic deflection</i>	21
Gambar 2.11	<i>Deflection</i> dan <i>stress graph</i>	21
Gambar 2.12	Letak patahan poros	22
Gambar 2.13	Pola patahan poros	23
Gambar 2.14	Penampang patahan poros.....	24
Gambar 2.15	Hasil <i>finite element</i>	26
Gambar 3.1	Flowchart Penelitian.....	28
Gambar 4.1	Penampang Patahan Pompa 107 JA sisi <i>outboard</i>	36
Gambar 4.2	Penampang Patahan Pompa 107 JA sisi <i>inboard</i>	37
Gambar 4.3	Patahan Poros Pompa 107 JA 11 Juli 2017.....	38
Gambar 4.4	Lokasi Patahan Poros 11 Juli 2017	38
Gambar 4.5	Grafik S-N material 17-4 PH	40
Gambar 4.6	Desain 3D dari Poros dan Impeller	42
Gambar 4.7	<i>Input Property</i> Material 17-4 PH	43
Gambar 4.8	Meshing Poros	44

Gambar 4.9 <i>Boundary Condition Finite Element Analysis</i> Poros	44
Gambar 4.10 Hasil <i>Equivalent Stress Max</i> pada Pembebanan Torsi 1929,2 Nm.....	45
Gambar 4.11 Hasil <i>Equivalent Elastic Strain</i> pada Pembebanan Torsi 1929,2 Nm.....	46
Gambar 4.12 Hasil <i>Total Deformation</i> pada Pembebanan Torsi 1929,2 Nm	46
Gambar 4.13 Titik Pengambilan Data Kecepatan Vibrasi	47
Gambar 4.14 Grafik Kecepatan Vibrasi arah Vertikal.....	48
Gambar 4.15 Grafik Kecepatan Vibrasi arah Horizontal.....	48
Gambar 4.16 Titik Pembebanan setiap 10 °.....	49
Gambar 4.17 <i>Boundary Condition</i> pada Pembebanan 1000 KN	50
Gambar 4.18 Hasil <i>Equivalent Stress Max</i> pada Pembebanan 1000 KN dengan sudut 310 °.....	50
Gambar 4.19 Hasil <i>Equivalent Elastic Strain</i> pada Pembebanan 1000 KN dengan sudut 310 °.....	51
Gambar 4.20 Hasil <i>Total Deformation</i> pada Pembebanan 1000 KN dengan sudut 310 °.....	51
Gambar 4.21 Grafik Tegangan pada Pembebanan 1000 KN.....	53
Gambar 4.22 Grafik <i>Total Deformation</i> Pembebanan 1000 KN	54
Gambar 4.23 <i>Boundary Condition</i> pada Pembebanan 1381 KN	55
Gambar 4.24 Hasil <i>Equivalent Stress Max</i> pada Pembebanan 1381 KN dengan sudut 310 °.....	55
Gambar 4.25 Hasil <i>Equivalent Elastic Strain</i> pada Pembebanan 1381 KN dengan sudut 310 °.....	56
Gambar 4.26 Hasil <i>Total Deformation</i> pada Pembebanan 1381 KN dengan sudut 310 °.....	56
Gambar 4.27 Hasil <i>life cycles</i> pada pembebanan 1381 KN dengan sudut 130 °.....	57

Gambar 4.28	Grafik Tegangan pada Pembebanan 1381 KN.....	59
Gambar 4.29	Grafik <i>Total Deformation</i> Pembebanan 1381 KN	59
Gambar 4.30	Grafik Perbandingan Tegangan	61
Gambar 4.31	Grafik Perbandingan <i>Total Deformation</i>	61

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Material 17-4 PH pada Poros	18
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Material ASTM A564 type 630.....	18
Tabel 2.3 <i>Mechanical Properties</i> Material 17-4 PH.....	18
Tabel 3.1 Spesifikasi Pompa <i>Semi-lean Benfield</i> 107 JA.....	27
Tabel 4.1 Data sheet kerusakan yang terjadi pada pompa 107 JA periode 2016-2017.....	33
Tabel 4.2 Tabel hasil simulasi FEA pada pembebanan 1000 KN	52
Tabel 4.3 Tabel hasil simulasi FEA pada pembebanan 1381 KN	57

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

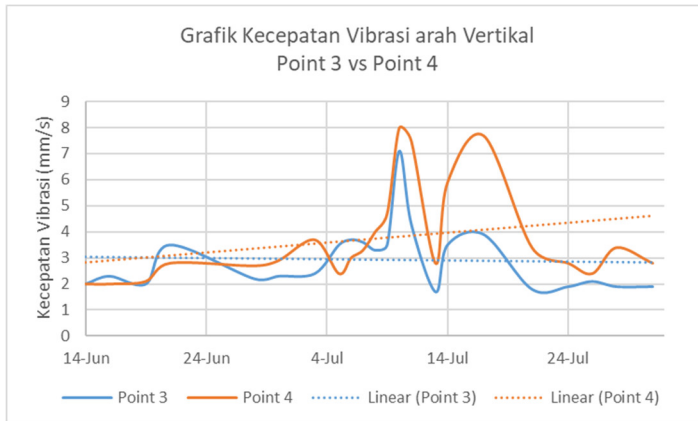
PT Petrokimia Gresik merupakan salah satu industri penghasil pupuk terlengkap di Indonesia. Berbagai macam produk yang dihasilkan, diantaranya pupuk urea, ZA, SP-36, ZK, NPK Phonska, NPK Kebomas, dan pupuk organik Petroganik. Selain itu PT Petrokimia Gresik menghasilkan produk lain, seperti amoniak, asam sulfat (H_2SO_4), gas karbondioksida (CO_2), asam fosfat (P_2O_5), aluminium flourida dan *cement retarder*. [1]

Untuk dapat menunjang produksi pupuk, PT Petrokimia Gresik memiliki tiga pabrik yang berlokasi di Gresik. Pabrik I sebagai penghasil amoniak, ZA I dan III, pupuk urea serta CO_2 . Pabrik II sebagai penghasil SP-36 dan Phonska. Pabrik III sebagai penghasil asam sulfat, asam fosfat, aluminium flourida (AlF_3), *cement retarder* dan ZA II. Pupuk urea pada pabrik I diproduksi sebesar 460.000 ton per tahun. Untuk dapat memenuhi jumlah produksi pupuk urea, dibutuhkan berbagai bahan baku pembentuk pupuk urea seperti amoniak, CO_2 , dan *ammonium carbamate*.

Produk amoniak dan CO_2 dihasilkan dari proses *CO_2 removal* pada pabrik PT Petrokimia Gresik. Pada proses ini terjadi dua proses penting yaitu *absorbs* dan *striper*, dimana proses *absorbs* bertujuan untuk mengikat CO_2 dari gas alam oleh larutan *benfield* (K_2CO_3) sehingga didapatkan gas alam yang mengandung sedikit CO_2 . Sedangkan proses *striper* bertujuan melepaskan CO_2 dari larutan *benfield* (K_2CO_3) untuk kemudian didapatkan produk CO_2 .

Pompa 107 JA merupakan salah satu komponen penunjang pada proses *CO_2 removal* untuk mengalirkan larutan *benfield*. Apabila pompa 107 JA mengalami kerusakan maka akan mengganggu produksi CO_2 dan amoniak per harinya. Selama periode 2017, pompa 107 JA mengalami beberapa kegagalan terutama pada poros yang digunakan. Kegagalan pada poros terjadi pada tanggal 10 Juni, 11 Juli dan 17 Juli 2017. Setelah pergantian poros pada tanggal 10 Juni 2017 pengecekan vibrasi dilakukan oleh

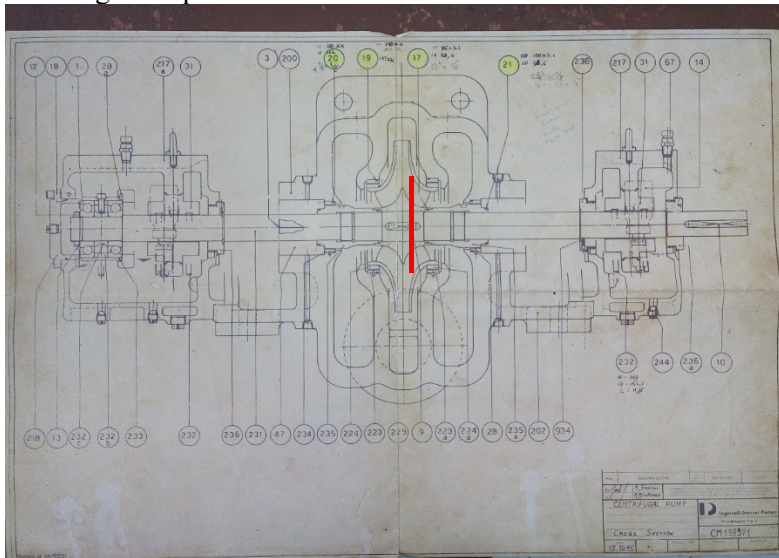
bagian inspeksi khusus, didapatkan trend kecepatan vibrasi arah vertikal pada point 3 dan 4 mengalami peningkatan cukup tinggi.



Gambar 1.1 Grafik Kecepatan Vibrasi Vertikal Point 3 dan 4[1]

Pada Gambar 1.1 dapat dilihat trend kenaikan dari kecepatan vibrasi arah vertikal point 3 dan 4 dalam rentang waktu 14 Juni hingga 31 Juli 2017. Pada pompa 107 JA point 3 merupakan sisi kopling sedangkan point 4 merupakan sisi bearing dari pompa 107 JA. Peningkatan kecepatan vibrasi menimbulkan permasalahan-permasalahan pada pompa 107 JA seperti kebocoran mechanical seal, noise serta getaran berlebih. Point 4 memiliki trend kecepatan vibrasi yang lebih tinggi dibandingkan point 3, dugaan awal dari pihak mekanik adalah terdapat clearance antara journal bearing dengan poros sehingga dilakukan *flushing oil* dan pengecekan clearance. Namun trend kecepatan vibrasi tetap tinggi bahkan menyentuh batas *upper warning* yaitu 4 mm/s. Untuk mengantisipasi vibrasi yang semakin tinggi, pihak mekanik men-switch pompa 107 JA dengan pompa 107 JB pada tanggal 10 Juli 2017. Sebelumnya vibrasi pompa telah mencapai 8 mm/s pada arah vertikal point 4. Setelah itu dilakukan *flashing oil* pada pompa untuk mereduksi vibrasi namun masih melebihi batas *upper warning*. Kemudian dilakukan *re-alignment* dan penggantian

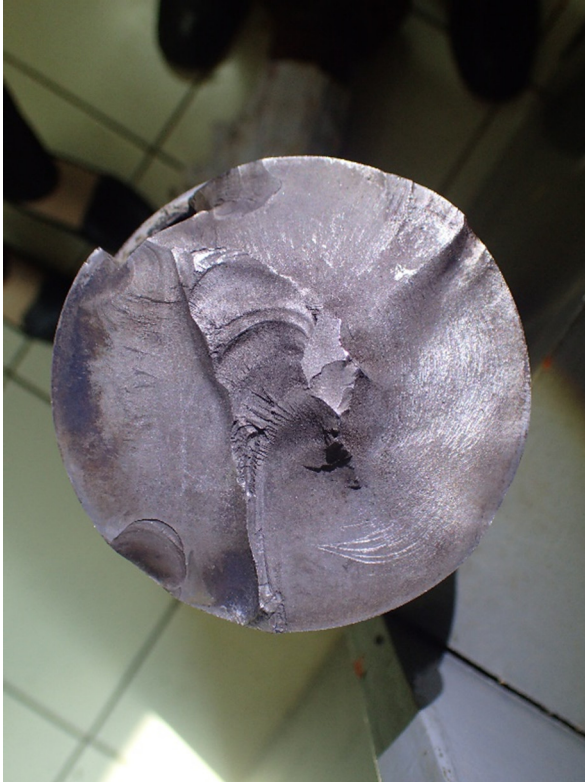
journal bearing pada sisi *outboard*. Tanggal 11 Juli 2017 pukul 07.10 persiapan untuk *men-switch* dari pompa 107 JB ke pompa 107 JA. Setelah di-*switch* dilakukan pengukuran vibrasi pada point 4 arah vertikal didapatkan kecepatan vibrasi sebesar 7,5mm/s sehingga pompa 107 JA harus di-*switch* ke 107 JB untuk dilakukan overhaul. Pada saat overhaul ditemukan bahwa poros pompa 107 JA mengalami patah.



Gambar 1.2 *Cross Sectional Drawing Semi-lean Benfield Pump 107 JA[1]*

Gambar 1.2 menunjukkan gambar teknik dari pompa 107 JA. Garis merah merupakan lokasi dari terjadinya patah poros pada tanggal 11 Juli 2017. Lokasi patahan terletak ditengah namun cenderung ke sisi penggerak. Momen puntir atau torsi dari penggerak serta adanya momen bending saat poros berputar menyebabkan semakin tinggi konsentrasi tegangan pada daerah pasak. Hipotesa yang dilakukan oleh bagian inspeksi khusus, pompa mengalami momen bending akibat adanya aliran balik

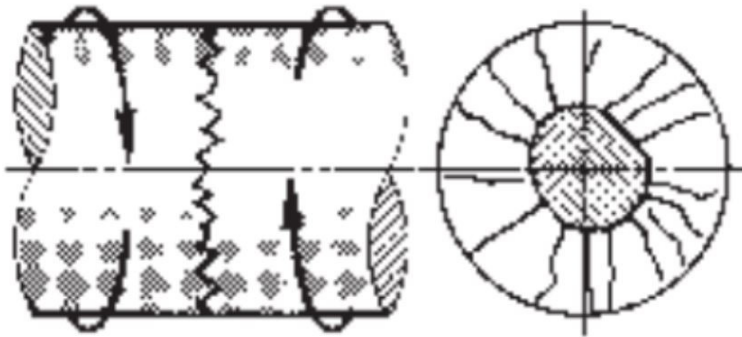
fluida pada sisi *suction*. Hal ini akibat dari rpm pompa yang tidak sesuai dengan desain yang menyebabkan debit aliran ikut menurun.



Gambar 1.3 Penampang patahan pompa 107 JA[1]

Berdasarkan Gambar 1.3 menunjukkan penampang patahan pompa 107 JA. Bentuk dan pola patahan poros menunjukkan indikasi terjadinya patah ulet yang diakibatkan *fatigue failure*. Ciri umum dari *fatigue failure* adalah terdiri dari dua daerah patahan yaitu, daerah garis-garis halus yang menunjukkan tahap perambatan retak dan daerah yang tampak lebih kasar sebagai tanda sisa penampang yang patah pada saat terakhir karena tidak lagi dapat menahan beban.[2]

Gambar 1.4 menunjukkan adanya beban dinamis yang dikenai pada poros menyebabkan pola patahan berupa garis patah. Patah lelah timbul karena tegangan tersebut berfluktuasi secara periodik. Pada spesimen yang berputar, bagian atas selalu mengalami beban tekan dan bagian bawah mengalami tarik dengan besar yang sama, sehingga setiap titik pada permukaan spesimen mengalami tegangan bolak balik yang menyerupai garis sinusoidal.[3]



Gambar 1.4 *Fatigue Fracture* akibat Torsi[4]

Untuk mengantisipasi agar kegagalan tidak terjadi lagi, maka perlu dilakukan tindakan *proactive*, yakni dengan melakukan analisis kegagalan (*failure analysis*). Untuk mengetahui secara detail proses terjadinya patahan pada poros pompa 107 JA maka dilakukan pendekatan model dan simulasi sistem. Permodelan dilakukan dengan mengacu pada kondisi nyata di lapangan, yakni menyesuaikan ukuran spesimen dan parameter lainnya agar didapatkan model yang mendekati aktual. Hasil dari simulasi didapatkan penyebab terjadinya patah pada poros.

1.2 Rumusan Masalah

Seringnya terjadi kegagalan pada pompa 107 JA terutama pada bagian poros menyebabkan kegiatan produksi terhambat. Perlu dilakukan analisis pada poros untuk mencari:

1. Penyebab patahnya poros pada pompa 107 JA.

2. Langkah penanggulangan agar kegagalan pada poros pompa 107 JA tidak terulang kembali.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Fluida yang mengalir merupakan *Benfield* (K_2CO_3).
2. Pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal *single stage double suction*.
3. Permodelan 3D menggunakan *software design* dan simulasi menggunakan *finite element analysis*.
4. Material poros yang diteliti adalah *Stainless Steel* 17-4 PH.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini didasari oleh rumusan masalah diatas, yaitu:

1. Mencari penyebab terjadinya patah poros pada pompa 107 JA.
2. Mendapatkan langkah penanggulangan agar kegagalan pada poros tidak terulang kembali.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat, antara lain:

1. Memberikan solusi yang dapat direkomendasikan kepada pihak Mekanik I Pabrik Amoniak PT Petrokimia Gresik mengenai kegagalan komponen diatas.
2. Untuk penulis memberikan pembelajaran dalam melakukan analisis penyebab kerusakan suatu komponen.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang dipergunakan dalam penulisan proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan
Dalam bab ini dibahas tentang latar belakang pemilihan masalah sebagai topik tugas akhir, perumusan masalah,

batasan masalah, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian dan manfaat penelitian serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka yang berhubungan dan mendukung analisis permasalahan pada penelitian ini.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Dalam bab ini dibahas tentang metode penelitian yang dipergunakan serta prosedur yang mencakup tahap persiapan dan pengambilan data penelitian yang dilakukan.

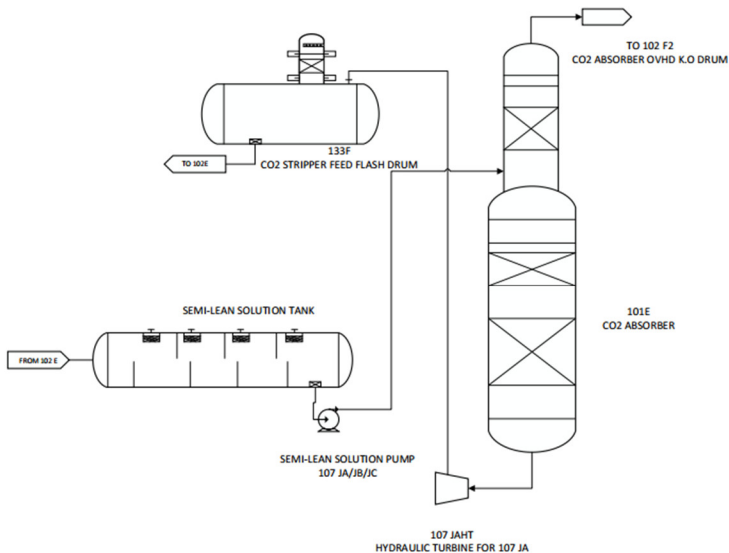
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai tinjauan pustaka yang akan digunakan sebagai acuan, prosedur dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian sehingga permasalahan yang diangkat dapat terselesaikan dengan baik. Tinjauan pustaka yang digunakan adalah berdasarkan permasalahan pada poros pompa 107 JA.

2.1 Proses CO₂ Removal



Gambar 2.1 Diagram alir CO₂ removal[1]

Dari Gambar 2.1 terlihat diagram alir proses CO₂ removal dimana terjadi pemisahan gas CO₂ dari gas alam untuk mendapatkan NH₃, N₂, H₂ dan CO₂. Pemisahan gas CO₂ dilakukan dengan cara *absorbs* gas CO₂ dengan media *benfield* (K₂CO₃) pada tekanan 28-32 Kg/cm²g dan temperatur sebesar 70°C pada tabung

101E (*absorber*). Selain tabung 101E terdapat beberapa komponen seperti pompa *semi-lean benfield* 107 JA, 107 JB, 107 JC, 107 JD, turbin hidrolik 107 JAHT, tabung 133F (*flash drum*), tabung 102E (*stripper*), dan 132F (*semi-lean solution tank*).

Pompa 107 JA, 107 JC dan 107 JD berfungsi untuk mengalirkan larutan *semi-lean benfield* ke tabung 101E. Pompa 107 JB dalam keadaan *standby* apabila ada salah satu pompa rusak. Pada tabung 101E larutan *semi-lean benfield* akan kontak langsung dengan gas alam untuk mengikat gas CO₂. Gas alam yang tidak diikat oleh larutan *semi-lean benfield* keluar dari tabung 101E menuju ke tabung 102F2 untuk proses lanjutan pembuatan amoniak.

Larutan *semi-lean benfield* yang mengandung CO₂ keluar dari tabung 101E menuju turbin hidrolik 107 JAHT dengan temperatur 116°C. Fungsi dari turbin hidrolik 107 JAHT adalah sebagai penggerak pompa 107 JA dengan memanfaatkan energi potensial larutan yang keluar dari tabung 101E. Kemudian larutan *semi-lean benfield* menuju tabung 133F. Pada tabung 133F terjadi pelepasan gas alam yang terbawa oleh larutan *semi-lean benfield* ke udara bebas. Untuk kemudian larutan menuju tabung 102E.

Pada tabung 102E terjadi pemisahan antara larutan *semi-lean benfield* dengan CO₂. Proses ini nantinya yang akan menghasilkan produk gas CO₂. Untuk memisahkan antara larutan dengan CO₂ pada tabung 102E dilakukan integrasi yaitu mengalirkan uap panas dengan temperatur 100-130°C dan dengan tekanan rendah 0,5-1 Kg/cm²g. Integrasi dilakukan dua kali. Integrasi pertama menghasilkan larutan *semi-lean benfield* dan integrasi yang kedua menghasilkan larutan *lean benfield*.

Perbedaan larutan *semi-lean benfield* dengan larutan *lean benfield* adalah kandungan CO₂ yang terdapat pada larutan. Larutan *semi-lean benfield* lebih banyak kandungan CO₂ dibandingkan larutan *lean benfield*. Larutan *semi-lean benfield* dialirkan ke tabung 132F untuk dilakukan penurunan temperatur sebelum nantinya dialirkan lagi ke tabung 101E oleh pompa 107

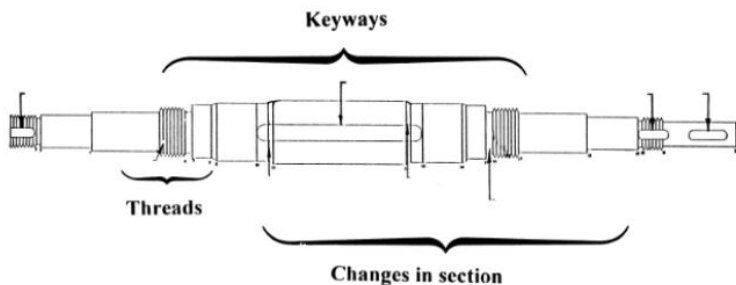
JA, 107 JC dan 107 JD. Sedangkan larutan *lean benfield* dialirkan langsung oleh pompa 108 J dan 108 JA menuju tabung 101E.

Pompa 107 JA merupakan pompa dengan jenis sentrifugal *single stage* dengan *double suction*, dimana *double suction* menyatakan bahwa aliran fluida yang masuk melalui dua sisi *impeller* agar *suction* menjadi besar. *Bearing* yang digunakan untuk menahan beban radial adalah *journal bearing* dan *thrust bearing* untuk menahan beban aksial. Sedangkan untuk menghubungkan poros pompa 107 JA dengan poros penggerak turbin hidrolik 107 JAHT digunakan kopling.

2.2 Pembebanan pada Poros Pompa

Poros atau *shaft* adalah elemen mesin yang digunakan untuk mentransmisikan daya dari satu tempat ke tempat lainnya. Daya tersebut dihasilkan oleh gaya tangensial dan momen torsi, kemudian hasil akhirnya daya tersebut akan ditransmisikan kepada elemen lain yang berhubungan dengan poros tersebut.[5]

Pada kondisi kerjanya poros menerima beberapa beban seperti beban *bending*, beban tarikan, beban tekan, beban torsi atau gabungan dari beban-beban tersebut. Beban diakibatkan oleh torsi, berat komponen poros dan *impeller* serta gaya-gaya hidrolik maupun gaya aksial yang bekerja. Poros juga menerima beban yang diakibatkan oleh getaran atau dikenal sebagai *vibratory stress*.[7]



Gambar 2.2 Letak konsentrasi tegangan pada poros[6]

Gambar 2.2 menunjukkan bagian pada poros yang terkena tegangan terbesar saat poros berputar. Konsentrasi tegangan dapat terjadi pada bagian sambungan poros *driver* dengan poros *driven*, bagian ulir poros, bagian rumah pasak serta bagian yang terjadi perubahan ukuran diameter. Konsentrasi tegangan pada dasarnya sangat dihindari pada saat mendesain poros dikarenakan dapat memperpendek umur komponen.

Umumnya area yang paling sering terjadi patahan adalah bagian dengan konsentrasi tegangan terbesar yaitu pada radius terkecil pada pasak, rumah pasak dan sudut-sudut yang tajam pada area penampang yang melintang pada poros. Baja, kecuali baja tahan karat memiliki batas kelelahan dimana tegangan di bawah perambatan patah lelah tidak akan terjadi tanpa adanya gaya yang berulang. Oleh karena itu, adanya konsentrasi tegangan menurunkan batas tegangan yang diperbolehkan pada poros di titik itu, dan membuatnya semakin rentan terhadap kelelahan. Sementara itu baja tahan karat memiliki batas ketahanan, misalnya material tersebut mampu menahan gaya berulang secara terbatas sebelum mengalami kegagalan dikarenakan kelelahan.

2.3 Kegagalan-Kegagalan pada Poros Pompa

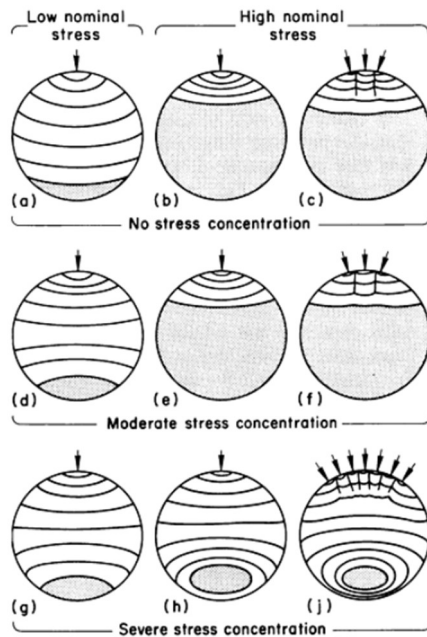
Selama beroperasi, umumnya poros pompa bekerja pada kecepatan putaran yang tinggi dan lingkungan yang korosif. Hal ini menyebabkan terjadinya degradasi terhadap poros pompa tersebut baik itu secara mekanis maupun material. Degradasi dengan adanya pembebanan pada poros meningkatkan laju kegagalan pada poros tersebut.

Terdapat beberapa kegagalan yang umum pada poros pompa, yaitu korosi (*corrosion*), keausan (*wear*) dan kelelahan (*fatigue*). Namun kegagalan yang sering terjadi pada poros pompa adalah kegagalan akibat kelelahan (*fatigue failure*). *Fatigue failure* pada poros pompa terjadi akibat pembebanan yang berfluktuasi atau berubah-ubah secara terus menerus dengan nilai tegangan masih berada dibawah kekuatan luluh (*yield strength*) material.[7]

Berdasarkan pembebanan yang diterima poros *fatigue failure* terbagi menjadi tiga bagian, yaitu *bending fatigue*, *torsional fatigue*, dan *axial fatigue*. *Bending fatigue* merupakan hasil dari beban *bending* berupa: *unidirectional (one-way)*, *reversed (two-way)* dan *rotating*. *Torsional fatigue* terjadi dari hasil adanya pembebanan yang berfluktuasi atau adanya momen puntir berupa torsi. *Axial fatigue* terjadi akibat adanya *tension-compression load* atau beban yang berfluktuasi pada arah aksial.[7]

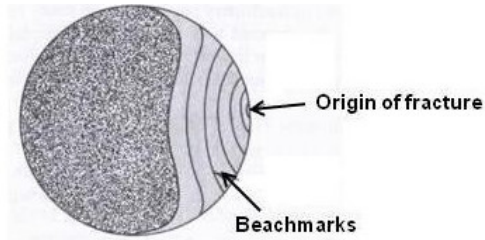
2.3.1 Bending Fatigue

Beban berupa *tension-compression load* dalam arah radial berpengaruh pada kegagalan *bending fatigue*. Pada *unidirectional bending*, tegangan berfluktuasi pada satu titik. Pada *reversed* dan *rotating bending*, tegangan sama besar dengan arah pembebanan berlawanan (*tension-compression load*) pada setiap titik.



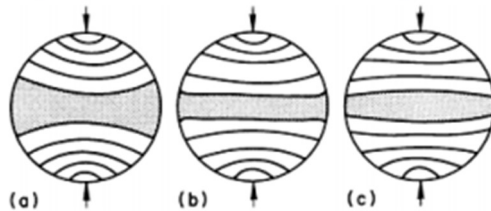
Gambar 2.3 Bending fatigue akibat *unidirectional bending*[7]

Gambar 2.3 menunjukkan beragam bentuk patahan *bending fatigue* akibat dari *unidirectional bending*. Perbedaan nilai tegangan dan banyaknya jumlah konsentrasi tegangan menyebabkan perbedaan bentuk pola patahan. Pola patahan ini ditandai dengan adanya pola garis pantai (*beach mark*).



Gambar 2.4 Pola patahan *beach mark*[7]

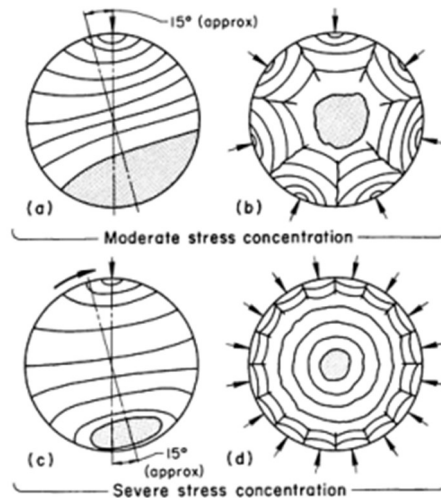
Pola patahan *beach mark* yang diperlihatkan pada Gambar 2.4 memiliki tekstur yang halus pada bagian awal patahan dan semakin kasar pada bagian akhir patahan. Patahan di mulai dari terjadinya peningkatan tegangan yang terdistribusi sepanjang pembebanan, terutama pada bagian yg terdapat *surface discontinuity*. Sehingga dapat dikatakan *fatigue fracture* nya adalah hasil dari *low-overstress* dan *high-cycle unidirectional-bending load*.



Gambar 2.5 *Bending fatigue* akibat *reversed bending*[7]

Gambar 2.5 menunjukkan pola patahan *bending fatigue* akibat *reversed bending*. Pada *reversed bending* yang berperan hingga menimbulkan kegagalan adalah pembebanan dari dua arah. Sehingga saat terjadi momen *bending*, sisi poros mengalami

tegangan tarik (*tension stress*) dan sisi poros yang lain mengalami tegangan tekan (*compression stress*). Apabila besarnya momen *bending* sama besar antara dua sisi poros tersebut dengan arah yang berlawanan, maka akan terbentuk dua pola patahan yang sama panjang dari masing-masing sisi poros.



Gambar 2.6 Bending fatigue akibat *rotating bending*[7]

Bending fatigue akibat *rotating bending* di tunjukkan pada Gambar 2.6. Pada poros yang berputar, setiap titik pada keliling lingkaran poros dikenai tegangan tarik (*tension stress*) kemudian tegangan tekan (*compression stress*) setiap perputarannya. Besar nilai dari tegangan tarik dan tegangan tekan bergantung pada kondisi kelurusan poros (*alignment*). Bentuk dari pola patahan akibat *rotation bending* ini adalah terjadinya perambatan retakan akhir yang tidak simetris dari retakan awal. Terdapat kecenderungan retakan yang bergerak berlawanan arah rotasi dengan kemiringan sebesar 15° atau lebih.[7]

2.3.2 Torsional Fatigue

Torsional fatigue terjadi ketika tegangan meningkat akibat dikenai beban torsi. Beban torsi meningkatkan tegangan yang searah dengan sumbu *axis* putaran poros. Terutama pada bagian yang terdapat konsentrasi tegangan seperti tanda permukaan, pasak dan rumah pasak.

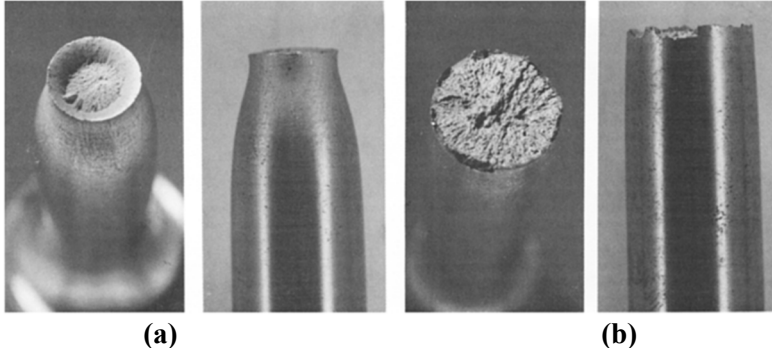


Gambar 2.7 Pola patahan akibat *torsional fatigue*[7]

Pola patahan yang ditunjukkan Gambar 2.7 memperlihatkan adanya pola *beach mark*. Diawali dengan retak awal (*crack initiation*) akibat sejumlah tegangan geser permukaan, baik itu secara *longitudinal* maupun *transverse*. Kemudian terjadi perambatan pada retakan (*crack propagation*) sepanjang permukaan yang terkena pembebanan. Pada daerah konsentrasi tegangan nilai tagangan menjadi maksimal. Hingga akhir nya material tidak mampu menahan beban torsi yang diberikan, sehingga terbentuk *final fracture*.

Dari jenis-jenis patahan diatas dapat terlihat bahwa kegagalan umumnya terjadi akibat beban yang berfluktuasi. Patahan berawal dari daerah konsentrasi tegangan yang menerima pembebanan maksimal, terbentuklah *crack initiation*. Kemudian terjadi perambatan retak akibat beban masih diterima poros. Hingga akhirnya poros tidak mampu menahan beban, terbentuklah *final fracture*.

Selain itu, pola dan bentuk patahan juga dibedakan berdasarkan material dari poros tersebut. Beberapa bentuk dan pola patahannya, yaitu sebagai berikut:



Gambar 2.8 Perbandingan pola patahan (a) *Ductile fracture*
(b) *Brittle fracture*[7]

Gambar 2.8 menunjukkan perbedaan pola patahan antara patah *ductile* dengan patah *brittle*. Permukaan patahan *ductile* nampak kasar, berserabut (*fibrous*) akibat adanya penyerapan energi disertai deformasi plastis yang cukup besar disekitar patahan dan cenderung berwarna kelabu. Patahan *brittle* ditandai dengan permukaan yang nampak halus, rata, dan berwarna lebih terang atau mengkilap. Hal ini disebabkan penjaralan retak yang lebih cepat dibanding patah *ductile* yang mengakibatkan penyerapan energi lebih sedikit dan tanpa terjadi deformasi plastis.

2.4 Material *Stainless Steel 17-4 PH*

Poros pompa 107 JA menggunakan material *Stainless Steel 17-4 PH*. Material ini merupakan material *martensitic precipitation-hardening*. Baja 17-4 PH ini merupakan baja tahan karat khusus yang mampu mengalami proses perlakuan panas. Perlakuan panas yang diberikan pada baja ini adalah *precipitation hardening*, yaitu proses pengerasan dengan memunculkan adanya presipitat. Presipitat yang muncul dari baja ini adalah Cu.[8]

Material SS 17-4 PH memiliki ketahanan pada temperatur tinggi mencapai 316°C. Penggunaan material 17-4 PH banyak digunakan pada industri-industri seperti perminyakan, industri kimia dan sebagai material pesawat terbang. Material 17-4 PH sesuai dengan standard ASTM dan *equivalent* dengan material ASTM A564 type 630. Hal ini ditunjukkan pada tabel komposisi kimia material 17-4 PH dan material ASTM A564 type 630 berikut.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Material 17-4 PH pada Poros[8]

Type	Komposisi Kimia (%)											
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Cu	N	Mo	Ti	Cb + Ta
H900	0,064	0,528	0,050	0,000	0,468	14,170	4,397	3,702	-	0,143	0,017	-

Tabel 2.1 didapatkan dari penelitian terdahulu tentang analisa kegagalan pada poros pompa 107 JC. Penulis melakukan identifikasi komposisi kimia sehingga didapatkan data seperti tabel diatas.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Material ASTM A564 type 630[8]

Type	Komposisi Kimia (%)											
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Cu	N	Mo	Ti	Cb + Ta
630	0,07	1	0,04	0,03	1	15-17,5	3-5	3-5	-	-	-	0,15-0,45

Tabel 2.2 menunjukkan komposisi kimia standard material ASTM A564 type 630. Dengan membandingkan tabel 2.1 dan 2.2 didapatkan kesimpulan bahwa material poros 107 JA *equivalent* dengan material ASTM A564 type 630. Material yang digunakan poros pompa 107 JA dengan 107 JC merupakan material yang sama.

Dalam proses pembuatannya material baja 17-4 PH dikhususkan untuk dikondisikan pada pembebanan yang cukup besar. Tabel 2.3 menunjukkan nilai *mechanical properties* dari material 17-4 PH.

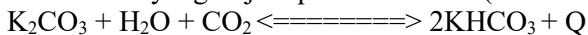
Tabel 2. 3 Mechanical Properties Material 17-4 PH[8]

Type	UTS (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Elongation % dalam 50.8 mm	HRC	Density (g/cm ³)	Modulus Young (MPa)	Poisson Ration	Shear Modulus (Mpa)
H900	1379	1275	9	45	7.78	197x10 ³	0.272	77.4x10 ³

2.5 Larutan *Benfield*

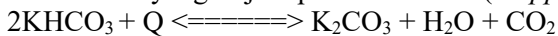
Larutan *benfield* merupakan suatu larutan yang digunakan untuk menyerap dan memisahkan gas-gas seperti H_2S dan CO_2 . Larutan ini terdiri dari larutan karbonat dan larutan DEA (Dietanolamin) yang dapat menyerap kandungan gas-gas *impurities* tersebut hingga 98%. Larutan karbonat berwarna gelap sedangkan larutan DEA berwarna bening kekuningan. Dalam larutan *benfield* inilah terjadi proses penyerapan gas. Kandungan dalam larutan *benfield* ini dapat dihitung kadarnya melalui suatu titrasi yang dilakukan. Nilai-nilai dari parameter yang dihitung dalam larutan *benfield* ini sangat dipengaruhi oleh temperatur dan SG larutan.

Reaksi yang terjadi pada unit 101E (*absorber*): [1]



Temperatur reaksi/*Pressure* : $106^\circ C/27.3 \text{ Kg/cm}^2$

Reaksi yang terjadi pada unit 102E (*stripper*): [1]



Temperatur reaksi/*Pressure* : $125^\circ C/1 \text{ Kg/cm}^2$

2.6 *Failure Analysis*

Failure Analysis atau analisis kegagalan adalah langkah-langkah pemeriksaan pemeriksaan kegagalan atau kerusakan pada suatu komponen untuk menentukan penyebab dari kegagalan/kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut.

Analisis kegagalan mempunyai tujuan sebagai berikut: [7]

1. Menentukan penyebab utama kegagalan.
2. Menghindari kegagalan yang sama pada masa yang akan datang dengan melakukan langkah-langkah penanggulangan.
3. Sebagai acuan teknis mengenai permasalahan pada kondisi yang mungkin serupa.

Langkah-langkah utama dalam melakukan analisis kegagalan dengan menggunakan metode RCFA (*Root Cause Failure Analysis*) adalah sebagai berikut:

- a. Mengumpulkan data terkait permasalahan awal secara global pada peralatan yang mengalami kegagalan.

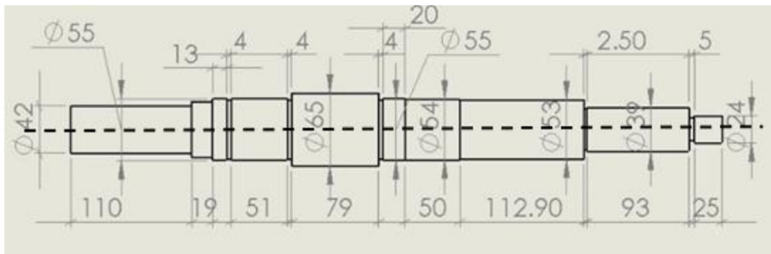
- b. Membandingkan kondisi kerja sebelum dan sesudah kegagalan terjadi.
- c. Mendapat identifikasi penyebab dari analisis yang telah dilakukan.
- d. Hipotesis dikembangkan dari analisis yang ada untuk menentukan penyebab awal yang mempengaruhi kerusakan.
- e. Pengetesan pada hipotesis yang ada dilakukan untuk mendapatkan penyebab kerusakan yang sebenarnya.
- f. Hasil identifikasi berupa akar permasalahan terhadap kerusakan.
- g. Kesimpulan dan saran dari hasil analisis.

2.7 Penelitian Terdahulu

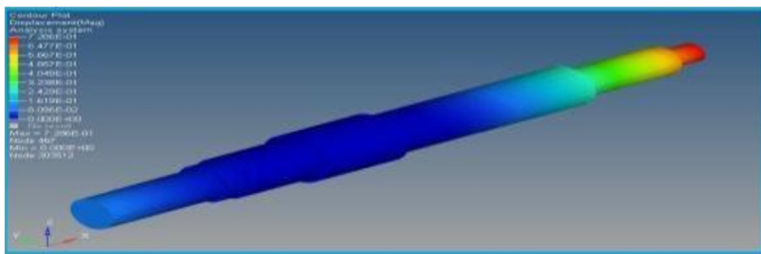
Beberapa penelitian terdahulu tentang analisis kerusakan poros dapat digunakan sebagai referensi dan pembanding akan latar belakang, tujuan serta metodologi yang digunakan. Berikut adalah beberapa penelitian sebelumnya yang dapat mendukung penelitian ini.

2.7.1 *Finite Element Analysis of Shaft of Centrifugal Pump*[9]

Bachche dan Tayade melakukan analisis *finite element* pada poros pompa sentrifugal pada tahun 2013. Penulis melakukan analisis dua tingkat yakni analisis statis dan dinamis, karena seperti diketahui bahwa mesin *rotordynamic* merupakan mesin yang didesain untuk menerima beban fluktuatif antara beban dan kecepatan. Pemodelan poros pompa dilakukan penulis seperti yang terlihat pada Gambar 2.9, kemudian dianalisis dalam dua tahap. Pada analisis tahap pertama, dilakukan analisis statis pada *stress and deflections*. Kemudian, hasil dari analisis statis dibawa ke analisis tahap kedua, yakni analisis dinamis untuk menghitung gaya dinamis dari pompa. *Software* yang digunakan adalah *finite element* dengan menggunakan *meshing* hypermesh dan *solver* dengan radioss.

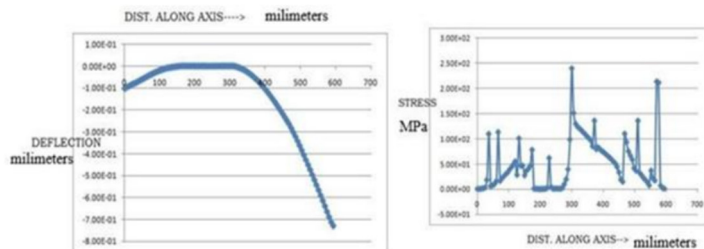


Gambar 2.9 *Drawing poros*[9]



Gambar 2.10 *Dynamic deflection*[9]

Hasil yang didapatkan penulis adalah beban dinamis memiliki pengaruh besar terhadap defleksi. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.10 defleksi dinamis maksimum sebesar 0.783 mm pada bagian *impeller end* dimana lebih kecil dari *limiting value* sebesar 0.9 mm. Sedangkan, *stress* dinamis maksimum sebesar 238 Mpa dimana lebih kecil dari tegangan yang diijinkan sebesar 290 Mpa.



Gambar 2.11 *Deflection dan stress graph*[9]

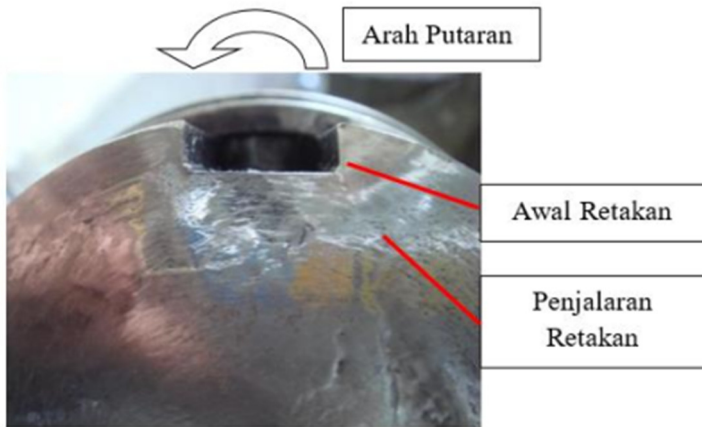
Defleksi maksimal dari hasil *graphical integration method* pada Gambar 2.11 adalah sebesar 0,8298 mm. Hasil ini berbeda dengan metode *finite element* karena metode grafik ini merupakan metode pendekatan yang masih memiliki keterbatasan akibat adanya *error* sebesar 5,637%. Dari keseluruhan analisis yang dilakukan penulis, dapat disimpulkan bahwa desain aman dan poros tidak akan gagal untuk kondisi saat ini.

2.7.2 Analisa Kerusakan *Shaft Stainless Steel 17-4 PH* pada Pompa Sentrifugal 107-JC di Pabrik 1 Amoniak PT Petrokimia Gresik[8]

Galih Nurhadyan pada tahun 2011 melakukan analisis kerusakan poros *stainless steel 17-4 PH* pada pompa sentrifugal 107-JC di Pabrik 1 Plant Amoniak PT Petrokimia Gresik. Pompa 107-JC merupakan pompa sentrifugal yang mengalirkan fluida berupa *semi-lean benfield* (K_2CO_3) yang berguna dalam proses produksi amoniak sebagai CO_2 *absorber*. Kegagalan yang terjadi adalah patahnya poros dengan indikasi awal naiknya trend vibrasi yang melebihi standar. Menurut pengamatan penulis, patahnya poros terjadi pada daerah *keyway* di bawah *impeller* yang ditunjukkan seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Letak patahan poros[8]



Gambar 2.13 Pola patahan poros[8]

Penulis melakukan analisis kerusakan dengan beberapa metode, yakni dengan mengumpulkan data primer dan data sekunder. Data primer antara lain pengamatan makroskopik, *fractography*, mikroskopik (penggunaan SEM dan Mikroskop Optik) serta identifikasi komposisi kimia dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES). Sedangkan data sekunder meliputi identifikasi beban dan tegangan operasi, pengujian mekanik yang meliputi uji kekerasan rockwell C, serta uji tarik.

Dari Gambar 2.13 terlihat bahwa awal retakan (*crack initiation*) terjadi karena adanya konsentrasi tegangan pada daerah rumah pasak yang memiliki sudut sedikit curam serta momen bending dan torsi yang bekerja pada poros. Awal retakan pada rumah pasak akan membentuk rambatan retakan (*crack propagation*) dan akhirnya patah seluruhnya (*final rupture*) pada bagian sisi poros yang merupakan patah lelah.

Dari hasil pengujian komposisi dan struktur mikro, material poros pompa telah memenuhi standar *stainless steel* 17-4 PH menurut ASTM A564 / ASME SA564 Type 630. Namun, ukuran desain rumah pasak kurang sesuai dengan standar ASME : ANSI Standard B171 1967. Ukuran pasak pada poros tersebut memiliki

lebar 0,5709 in dengan tinggi pasak 0,2165 in sedangkan menurut standar poros dengan diameter 85 mm atau 3,3465 in memiliki ukuran pasak dengan lebar 0,875 in dengan toleransi $-0,0030$ dan tinggi 0,625 in dengan toleransi $+0,0030$.

Pada analisis yang dilakukan penulis lebih cenderung kepada analisis material, baik secara makroskopis maupun secara mikroskopis. Sedangkan analisis beban yang dilakukan penulis akan didapatkan hasil yang lebih akurat jika digunakan analisis numerik seperti *finite element analysis*.

2.7.3 Analisa Kegagalan Poros Pompa *Centrifugal Multistage* (GA101A) Sub Unit Sintesa Urea PT Petrokimia Gresik[6]

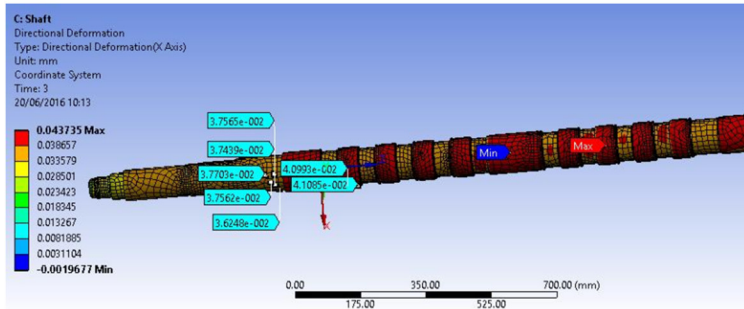
Angga Setiawan pada tahun 2016 melakukan analisis kegagalan yang terjadi pada pompa (GA101A) Sub Unit Sintesa Urea PT Petrokimia Gresik. Pompa (GA101A) merupakan pompa jenis *centrifugal multistage* dan merupakan salah satu *critical equipment* pada pabrik urea PT Petrokimia Gresik. Kegagalan yang terjadi pada pompa GA101A adalah patahnya poros. Pada Gambar 2.14 menunjukkan penampang patahan pada poros dimana indikasi awal adalah terjadinya kenaikan trend vibrasi pada bagian *bearing outboard* sejak bulan November 2015.



Gambar 2.14 Penampang patahan poros[6]

Penulis menganalisis kegagalan dengan beberapa metode, yaitu pengamatan makroskopis, melakukan pemodelan CAD, kemudian melakukan *finite element analysis*. Hasil dari *finite element analysis*, mekanisme patahan yang terjadi karena *thermal expansion* pada poros dan ring yang melebihi batas *clearance* yang ada. *Initial thermal load* disebabkan oleh temperatur kerja pompa itu sendiri sebesar 40-60°C dan pada kondisi tersebut masih tergolong aman. Namun, dengan adanya vibrasi tinggi pada poros pompa, maka gesekan akan selalu terjadi. Gesekan inilah yang akan menaikkan suhu ring, sehingga melebihi temperatur kerja pompa. Saat suhu mencapai sekitar 200°C, gesekan akan semakin besar bahkan menurut spektrum warna pada poros, suhu mencapai sekitar 1200°C sebelum poros putus. Vibrasi yang terjadi pada pompa diperkirakan diakibatkan oleh *unbalance* maupun *misalignment*. Hasil dari *finite element* dapat dilihat pada Gambar 2.15.

Dari hasil penelitian untuk menanggulangi *thermal expansion* material yang terjadi antara *ring* dan poros, maka rekomendasi yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah besaran *clearance* antara kedua komponen tersebut. *Clearance* aman menurut hasil *finite element analysis*, dengan material ring *Stainless Steel 304* dan temperatur 200°C adalah diatas 0.40 mm, sehingga penggantian jenis material tidak diperlukan. Namun, apabila digunakan material *Stainless Steel 410*, *clearance ring* dan poros minimal yang dibutuhkan adalah sebesar 0.35 mm. Selain itu, apabila terjadi perbaikan pada pompa sehingga harus dilakukan pembongkaran, maka perlu dilakukan *balancing* setelah *impeller* terpasang pada poros, karena berpotensi adanya massa *unbalance* pada *impeller* yang dapat mengakibatkan munculnya vibrasi.



Gambar 2.15 Hasil *finite element*[6]

Beberapa tinjauan pustaka diatas memiliki kesamaan dalam membuktikan stress yang terjadi menggunakan metode *finite elemen analysis* untuk melengkapi metode pengujian material lainnya. Langkah yang umum dilaksanakan dalam melakukan analisis kegagalan adalah melakukan analisis pola patahan (makroskopis), identifikasi aspek metalografi (*fractography*, mikroskopis, OES), identifikasi beban aktual yang diterima, membuat model geometri matematika komponen dan analisis beban, baik secara manual maupun dengan bantuan *software*.

Mengikuti tinjauan pustaka diatas, analisis kegagalan poros pompa 107 JA akan dimulai dengan melakukan pengamatan makroskopis pada penampang patahan, dilanjutkan dengan membuat model geometri matematika poros kemudian dilakukan analisis *torsion* pada *software finite element* sehingga didapatkan hasil yang akurat.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

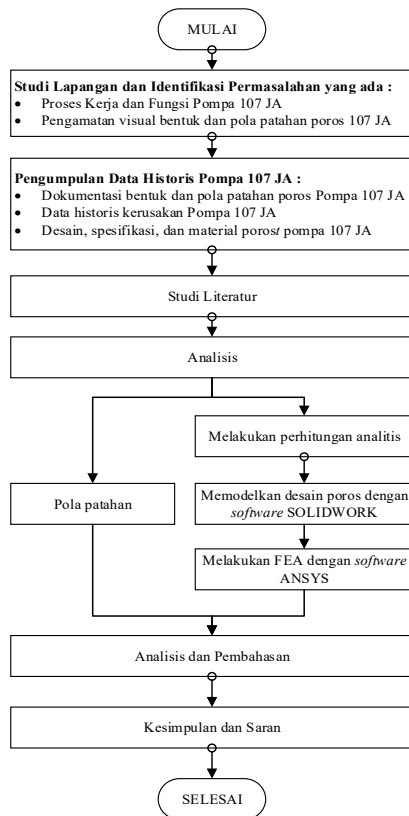
3.1 Spesifikasi Pompa 107 JA

Tabel 3.1 Spesifikasi Pompa *Semi-lean Benfield* 107 JA[1]

Manufaktur	Woorthington-Dresser
Penggerak	Turbin Hidraulik 107 JAHT
Tipe Pompa	<i>Centrifugal Pump Double Suction</i>
Fungsi	Pompa <i>Semi-lean Benfield</i>
<i>Liquid</i>	<i>Semi-lean Benfield Solution</i> (Sg. Gr 1.249 Kg/m ³)
Kapasitas	582,3 m ³ /jam
<i>Pressure Inlet</i>	1,9 kg/cm ² g (max)
<i>Discharge Pressure</i>	36,3 kg/cm ² g (max)
Head	272,8 m
Putaran	2950 rpm
Effisiensi	80%
Model	10/12 LPLD-18
Seal	Dura PTO (<i>mechanical seal</i>)
Berat	2300 Kg Poros : 650 Kg Impeller : 40 Kg
<i>Radial Bearing</i>	Sleeve
NPSHA	11,45 m
NPSHR	5,9 m
Daya	715 kW
<i>Tipe Impeller</i>	<i>Closed Double Volute</i> (<i>double admission</i>)
Material	API 610 class A-B Poros: 17-4 PH Casing: SS316 Impeller: 17-4 PH
Temperatur inlet	111°C

3.2 Flowchart Penelitian

Dalam bab ini dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dijadikan sebagai acuan dalam penulisan tugas akhir ini. Langkah-langkah tersebut diawali dengan studi lapangan mengenai permasalahan yang diteliti, kemudian dilakukan pengumpulan data-data yang mendukung, melakukan studi literatur, melakukan investigasi kerusakan yang terjadi, lalu menganalisis data dan mendiskusikan penyebab kegagalan yang kemudian dapat ditarik kesimpulan dan saran hasil penelitian ini. Seperti dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

3.3 Metodologi Penelitian

Tahap-tahap dalam mengerjakan penelitian ini dirangkum dalam metodologi penelitian untuk membuat penelitian lebih terstruktur dan sistematis. Berikut dijelaskan metodologi penelitian ini.

a. Studi lapangan dan identifikasi permasalahan

Pada tahap awal dilakukan identifikasi awal berupa permasalahan yang terdapat di bagian mekanik I amoniak yaitu berupa patah poros pompa *semi-lean benfield* 107 JA. Pengamatan dilakukan pada poros pompa 107 JA yang sudah dilepas. Tahap ini mempelajari secara detail fungsi dan sistematika kerja pompa serta pengamatan visual dari kerusakan pompa yang ada.

b. Pengumpulan *historical data* pompa 107 JA

Historical data yang dikumpulkan berupa desain, spesifikasi, dan material pompa 107 JA. Dokumentasi bentuk dan pola patahan juga diambil guna untuk memahami penyebab kerusakan. Dari bagian mekanik juga didapatkan data histori kerusakan pompa berupa data vibrasi, RCFA yang telah pernah dilakukan.

c. Studi literatur

Studi literatur dilakukan sebagai sumber penunjang dalam melakukan penelitian dengan mempelajari berbagai referensi berupa *handbook* maupun jurnal. Studi literatur berguna untuk mendukung penulis dalam melakukan analisis kerusakan yang terjadi berdasarkan analisis kegagalan yang pernah dilakukan sebelumnya oleh peneliti lain.

d. Melakukan analisis

Pada tahap ini, penulis melakukan analisis untuk mengidentifikasi akar masalah dan menganalisis hipotesa awal dengan tahapan sebagai berikut:

1. Melakukan pengamatan dan identifikasi pola patahan pada material poros secara makroskopis. Pengamatan

ini dilakukan dengan cara mengamati pola patahan yang telah didokumentasikan secara *close up*.

2. Melakukan perhitungan analitis berupa daya dan torsi aktual yang diterima poros.
3. Memodelkan poros pompa 107 JA sesuai dengan dimensi yang didapat dari Bagian Mekanik PT Petrokimia Gresik. Permodelan dilakukan dengan menggunakan *software design*.
4. Melakukan simulasi FEA dengan memasukkan model 3D ke *software finite element analysis*. Kemudian dilakukan *meshing* terhadap model, setelah itu *input* torsi serta arah yang bekerja. Hasil simulasi akan menentukan titik penyebab kerusakan.

e. Analisis dan pembahasan

Pembahasan yang dilakukan berdasarkan analisis yang telah dilakukan nantinya akan menjawab permasalahan yang telah dikemukakan pada perumusan masalah, yaitu:

1. Menganalisis penyebab patahnya poros pompa 107 JA
2. Mendapatkan langkah pengurangan terhadap kegagalan poros pompa 107 JA.

f. Kesimpulan dan saran

Tahapan akhir dari penelitian ini adalah didapatkan kesimpulan tentang penyebab kerusakan pada poros pompa 107 JA. Setelah itu, dibuatkan rekomendasi kepada PT Petrokimia Gresik berupa langkah-langkah untuk menghindari kerusakan dengan kegagalan yang sama terulang lagi.

3.4 Langkah-langkah *Finite Element Analysis* (FEA)

Finite element analysis adalah salah satu metode dalam menganalisa kegagalan. Metode ini adalah pendekatan kondisi aktual dengan menggunakan simulasi agar solusi yang didapatkan mendekati kondisi aktual. Penelitian ini menggunakan simulasi dengan *software finite element*. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan *finite element analysis*, yaitu:

- a. **Permodelan 3D**
Pembuatan model 3D komponen poros dengan menggunakan dimensi aktual. Permodelan dilakukan dengan *software design*.
- b. **Import model 3D**
Model 3D yang telah dibuat di import geometri ke *software finite element* untuk dilakukan analisis yang lebih lanjut.
- c. **Input engineering data**
Engineering data yang di-input berupa nilai *mechanical properties* 17-4 PH *Stainless Steel*, momen torsi dan arah torsi.
- d. **Meshing**
Model 3D poros diberikan *meshing* yaitu pembuatan jaring pada model 3D, hal ini agar hasil model menjadi lebih detail.
- e. **Fixed Support**
Pada proses ini ditentukan titik-titik yang *fixed* untuk *bearing* sebagai tumpuan.
- f. **Solution**
Tahap ini merupakan proses analisis untuk memperoleh hasil.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISIS PERMASALAHAN

Mengacu pada studi literatur dan studi lapangan yang telah dilakukan, nantinya akan dilakukan analisa baik secara *fractography* maupun secara simulasi yakni dengan menggunakan metode *finite element*. Hasil studi literatur dan pengamatan di lapangan pada fenomena patahnya poros pompa 107 JA pada proses CO₂ removal, didapat beberapa data antara lain adalah sebagai berikut:

4.1 Data Awal Kerusakan

Kerusakan yang terjadi pada pompa sentrifugal 107 JA adalah patahnya poros pompa yang terjadi beberapa kali selama periode 2016-2017. Tabel 4.1 merupakan data *sheet* kerusakan yang terjadi pada pompa 107 JA pada tahun 2016-2017 yang diperoleh dari pabrik I PT.Petrokimia Gresik.

Tabel 4.1 Data *sheet* kerusakan yang terjadi pada pompa 107 JA periode 2016-2017[1]

Waktu	Jenis kerusakan	Kondisi Pompa 107 JA	Downtime
27-Aug-16	Pergantian poros pompa 107 JA	Overhaul	8 hari. Operasi lagi 4 September 2016
17-Sep-16	Mechanical seal bocor	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	3 hari. Operasi lagi 20 September 2016
10-Nov-16	Turbin 107 JAHT mengalami kebocoran. Ganti rotor turbin 107 JAHT	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	14 hari. Operasi lagi 24 November 2016
12-Jan-17	Ganti journal bearing pompa 107 JA	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	4 hari. Operasi lagi 16 Januari 2017
18-Jan-17	Debit keluaran pompa 1000 ton/jam	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	4 hari. Operasi lagi 22 Januari 2017

24-Jan-17	Flashing oil pada turbin 107 JAHT	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	3 hari. Operasi lagi 27 Januari 2017
15-Feb-17	Pompa 107 JA di <i>switch</i> ke pompa 107 JB	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	9 hari. Operasi lagi 24 Februari 2017
02-Apr-17	Mechanical seal bocor	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	2 hari. Operasi lagi 4 April 2017
18-Apr-17	Perbaiki house bearing pompa. Rotor bagian pompa diganti. Ganti poros pompa 107 JA	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	1 hari. Operasi lagi 19 April 2017
21-Apr-17	Mechanical seal pompa bocor	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	8 hari. Operasi lagi 29 April 2017
18-May-17	Pompa 107 JA di <i>switch</i> ke pompa 107 JB	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	15 hari. Operasi lagi 2 Juni 2017
10-Jun-17	Mechanical seal point 3 retak. Poros pompa 107 JA retak. Ganti poros pompa 107 JA	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	3 hari. Operasi lagi 13 Juni 2017
21-Jun-17	Pompa 107 JA di <i>switch</i> ke pompa 107 JB	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	2 hari. Operasi lagi 23 Juni 2017
11-Jul-17	Patah poros pompa 107 JA. Ganti journal bearing. Ganti poros pompa 107 JA	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	3 hari. Operasi lagi 14 Juli 2017
17-Jul-17	Poros bengkok. Ganti poros pompa 107 JA. Perbaiki house bearing pompa. Re- <i>alignment shaft</i>	Pompa 107 JA <i>switch</i> ke pompa 107 JB	4 hari. Operasi lagi tanggal 21 Juli 2017

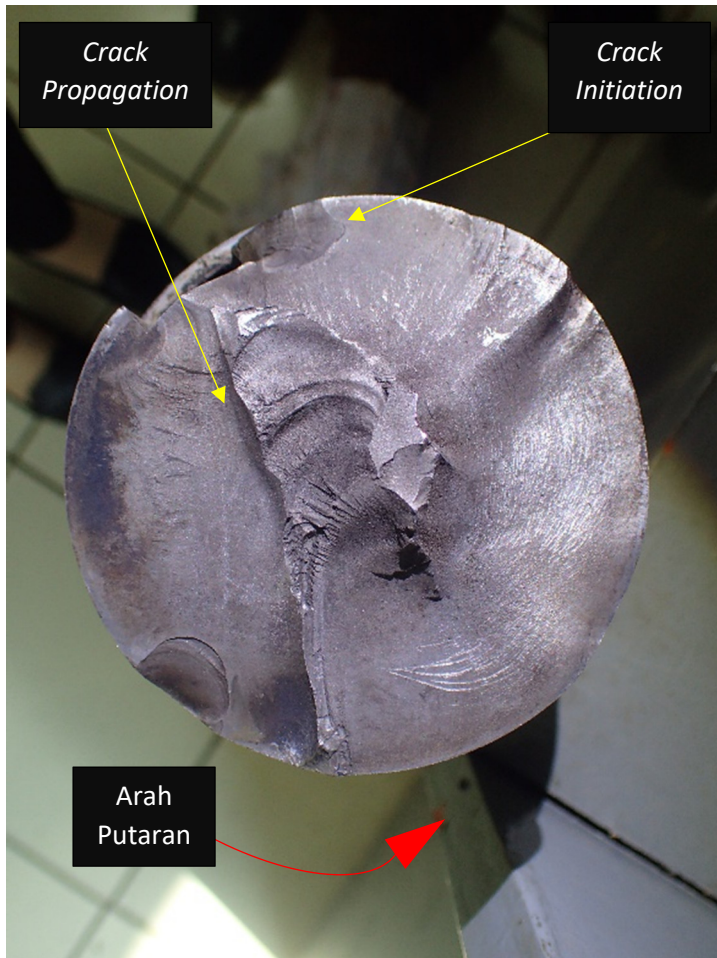
Berdasarkan data dari tabel 4.1 yang didapat dari pihak PT Petrokimia Gresik terjadi empat kali pergantian poros pompa sepanjang tahun 2017. Pergantian poros pertama terjadi pada 18 April, kedua terjadi pada 10 Juni, ketiga pada 11 Juli dan yang terakhir terjadi pada 17 Juli 2017. Singkatnya waktu pergantian poros menyebabkan perlu untuk dilakukan analisis lebih lanjut terhadap pompa 107 JA.

Berdasarkan kasus di lapangan, pemasangan poros baru terjadi setelah ditemukan kegagalan poros pada 10 Juni 2017 dikarenakan poros yang sebelumnya retak. Setelah pergantian poros yang baru diharapkan trend kecepatan vibrasi point 3 dan 4 stabil namun kenyataannya trend kecepatan vibrasi terjadi kenaikan. Dugaan awal dari pihak mekanik adalah terdapat clearance antara journal bearing dengan poros sehingga dilakukan *flushing oil* dan pengecekan clearance. Namun trend kecepatan vibrasi tetap tinggi bahkan menyentuh batas *upper warning* yaitu 4 mm/s. Untuk mengantisipasi vibrasi yang semakin tinggi, pihak mekanik men-*switch* pompa 107 JA dengan pompa 107 JB pada tanggal 10 Juli 2017 pukul 04.45 WIB. Sebelumnya vibrasi pompa telah mencapai 8 mm/s pada arah vertikal point 4 pada pukul 01.00 WIB. Setelah itu dilakukan *flashing oil* pada pompa untuk mereduksi vibrasi namun masih melebihi batas *upper warning*. Kemudian dilakukan *re-alignment* dan penggantian *journal bearing* pada sisi *outboard*. Tanggal 11 Juli 2017 pukul 07.10 persiapan untuk men-*switch* dari pompa 107 JB ke pompa 107 JA. Setelah di-*switch* dilakukan pengukuran vibrasi pada point 4 arah vertikal didapatkan kecepatan vibrasi sebesar 7,5mm/s sehingga pompa 107 JA harus di-*switch* ke 107 JB untuk dilakukan overhaul. Pada saat overhaul ditemukan bahwa poros pompa 107 JA mengalami patah.

Analisis patahan poros dilihat dari pola dan letak patahan poros yang terjadi. Berikut adalah foto kerusakan poros yang diperoleh dari Unit Amoniak Pabrik I PT Petrokimia Gresik.



Gambar 4.1 Penampang Patahan Pompa 107 JA sisi *outboard*[1]



Gambar 4.2 Penampang Patahan Pompa 107 JA sisi *inboard*[1]

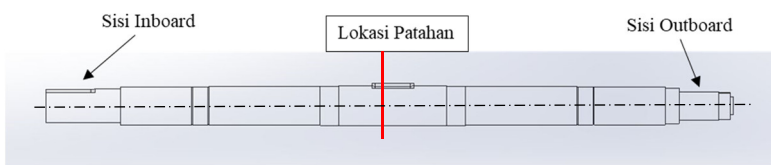
Gambar 4.1 merupakan bentuk patahan pompa 107 JA yang terjadi pada tanggal 11 Juli 2017. Terlihat terjadinya *failure* pada poros pompa 107 JA. Kondisi *failure* ini merupakan patahnya poros akibat menerima beban *fatigue*. Patahan terjadi diawali dengan konsentrasi tegangan pada rumah pasak akibat gaya torsi

dari pembebanan dan adanya momen bending pada poros. Saat mencapai tegangan maksimum dan material tidak mampu menahan beban *fatigue* yang diberikan maka *crack initiation* mulai terjadi. Kemudian dilanjutkan dengan *crack propagation* atau perambatan retakan dari rumah pasak ke pusat poros sampai akhirnya poros tidak mampu menahan beban hingga terjadi *final fracture*.

Gambar bentuk patahan poros yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.3, sedangkan lokasi patahan pada poros dapat dilihat pada gambar 4.4. Patahan poros yang ditunjukkan pada gambar 4.4 merupakan kegagalan poros pada tanggal 11 Juli 2017 dan gambar 4.4 adalah lokasi patahan pada tanggal 11 Juli 2017.



Gambar 4.3 Patahan Poros Pompa 107 JA 11 Juli 2017[1]



Gambar 4.4 Lokasi Patahan Poros 11 Juli 2017[1]

Lokasi patahan lebih berdekatan dengan sisi *inboard*, sehingga dugaan awal patahan terjadi karena besarnya pengaruh torsi sangat kuat. Untuk mengetahui torsi yang diterima selama pompa beroperasi sebelum mengalami kegagalan dapat dicari dengan rumus WHP (Water Horse Power) dan BHP (Break Horse

Power) kemudian di masukkan ke rumus torsi. Dari bagian DCS didapatkan data debit keluaran pompa untuk menghitung daya yang dikerjakan pompa 107 JA adalah sebagai berikut:

Debit pompa 107 JA (Q)	: 504,73 m ³ /jam = 0,14 m ³ /s
Head (H)	: 272,8 m
Putaran pompa (n)	: 2896,35 Rpm
Efisiensi pompa (η)	: 80%
Sg (benfield)	: 1,249

Penghitungan Water horse power (WHP)

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \text{Sg } \text{K}_2\text{CO}_3 (\text{benfield}) \times \rho \text{ H}_2\text{O} \times g \times Q \times H \\ &= 1,249 \times 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,14 \text{ m}^3/\text{s} \times 272,8 \text{ m} \\ &= 467954,73 \text{ watt} = 467,9 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Penghitungan Brake horse power (BHP)

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{467,9}{0,8} = 584,8 \text{ Kw} = 584800 \text{ watt}$$

Penghitungan Torsi

$$\text{Torsi} = \frac{60 \times \text{Pporos}}{2 \pi \times n} = \frac{60 \times 584800 \text{ watt}}{2 \pi \times 2896,35 \text{ rpm}} = 1929,2 \text{ Nm}$$

Sehingga didapatkan torsi saat sebelum poros mengalami patah pada tanggal 11 Juli 2017 sebesar 1929,2 Nm. Perhitungan daya ini nanti akan menjadi data *input* untuk analisis menggunakan *finite element analysis*.

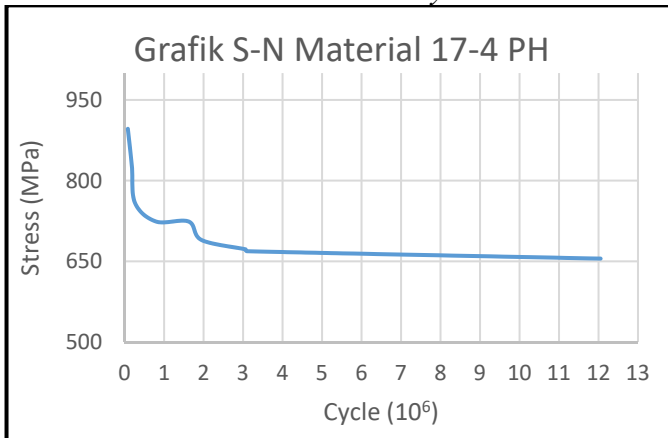
4.2 Umur Poros berdasarkan Waktu Operasi

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan yang terjadi pada poros saat terjadi kerusakan. Untuk mendapatkan nilai tegangan maksimum saat terjadi kerusakan dapat dilakukan dengan membandingkan *cycles* poros saat terjadi patahan dengan grafik S-N material yang ada. Grafik S-N material 17-4 didapatkan berdasarkan pada jurnal pengujian yang dilakukan oleh Perusahaan Boeing yang berada di Pennsylvania. Nilai pengujian dapat dilihat pada lampiran 5.

4.2.1 Umur Poros berdasarkan Waktu Operasi periode 18 April - 10 Juni 2017

Pada periode 18 April-10 Juni 2017 didapatkan data sebagai berikut :

Putaran : 2890 rpm
 18 April - 10 Juni : 32 hari (operasi)
 Jam operasi : 24 jam/hari
 Perhitung *cycles* = 32 hari x 24 jam
 = 768 jam x 60 menit
 = 46080 menit x 2890 rpm
 = 133.171.200 *cycles*



Gambar 4.5 Grafik S-N material 17-4 PH[10]

Dari gambar 4.5 didapatkan bahwa nilai *fatigue limit* dari material 17-4 PH sebesar 655 MPa. *Cycles* selama periode 18 April-10 Juni dapat dicari dari perhitungan masa operasi poros dikalikan dengan putarannya sehingga didapatkan nilai sebesar 133.171.200 *cycles*. Nilai *cycles* poros sangat besar sehingga saat dihubungkan dengan grafik S-N nilai tegangan maksimum tidak ditemukan sehingga dapat diasumsikan bahwa poros mengalami tegangan maksimum sama besar nya dengan nilai *fatigue limit* material yaitu 655 MPa.

4.2.2 Umur Poros berdasarkan Waktu Operasi periode 10 Juni - 11 Juli 2017

Pada periode 10 Juni-11 Juli 2017 didapatkan data sebagai berikut :

Putaran	: 2890 rpm
10 Juni - 11 Juli	: 28 hari (operasi)
Jam operasi	: 24 jam/hari
Perhitung <i>cycles</i>	$= 28 \text{ hari} \times 24 \text{ jam}$ $= 672 \text{ jam} \times 60 \text{ menit}$ $= 40320 \text{ menit} \times 2890 \text{ rpm}$ $= 116.524.800 \text{ cycles}$

Cycles poros beroperasi periode 10 Juni-11 Juli 2017 didapatkan nilai sebesar 116.524.800 *cycles*. Nilai *cycles* poros sangat besar sehingga saat dihubungkan dengan grafik S-N nilai tegangan maksimum tidak ditemukan sehingga dapat diasumsikan bahwa poros mengalami tegangan maksimum sama besar nya dengan nilai *fatigue limit* material yaitu 655 MPa.

4.2.3 Umur Poros berdasarkan Waktu Operasi periode 11 Juli - 17 Juli 2017

Pada periode 11 Juli-17 Juli 2017 didapatkan data sebagai berikut :

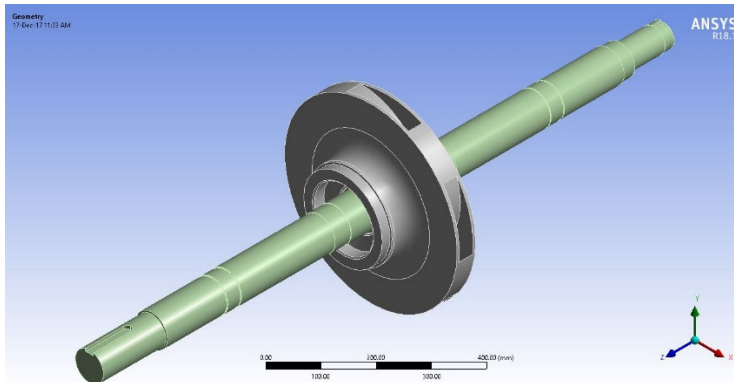
Putaran	: 2890 rpm
11 Juli - 17 Juli	: 3 hari (operasi)
Jam operasi	: 24 jam/hari
Perhitungan <i>cycles</i>	$= 3 \text{ hari} \times 24 \text{ jam}$ $= 72 \text{ jam} \times 60 \text{ menit}$ $= 4320 \text{ menit} \times 2890 \text{ rpm}$ $= 12.484.800 \text{ cycles}$

Cycles poros beroperasi periode 10 Juni-11 Juli 2017 dipatkan nilai sebesar 12.484.800 *cycles*. Jika nilai *cycles* poros dihubungkan dengan grafik S-N maka nilai tegangan maksimum poros adalah 655 MPa sama besarnya dengan nilai *fatigue limit* material.

4.3 Permodelan 3D Poros Pompa 107 JA

Setelah dilakukan perhitungan secara teoritis, untuk menentukan kerusakan yang terjadi pada poros pompa 107 JA dilakukan simulasi menggunakan bantuan *software finite element*. Poros dimodelkan dengan menggunakan *software design*, kemudian dianalisis menggunakan metode *finite element analysis* (FEA). Pemodelan dilakukan setelah didapatkan gambar teknik poros dari pabrik I Amoniak pada lampiran 1.

Gambar 4.6 merupakan 1 rangkaian poros yang sudah di *assembly*, hasil pemodelan yang sudah di buatkan 3D kemudian di *import* ke *software finite element*. Terdapat 3 part body yang di *assembly* yaitu, poros, pasak dan impeller.



Gambar 4.6 Desain 3D dari Poros dan Impeller

4.3.1 Input Nilai Mechanical Properties Material

Stainless Steel mempunyai enam sifat yang diperlukan untuk analisa yaitu *density*, *compressive yield strength*, *tensile yield strength*, *tensile ultimate strength*, *young's modulus* dan umur siklus tegangan. Gambar 4.7 merupakan *Property Material 17-4PH* yang berisi data *density*, *compressive yield strength*, *tensile yield strength*, *ultimate tensile strength* dan *young's modulus* yang didapatkan dari sumber internet. Material yang digunakan sebagai

acuan adalah 17-4 PH, material ini setara dengan ASTM A564 type 630.

Berikut merupakan spesifikasi material yang dipergunakan poros pompa 107 JA berdasarkan data *sheet* 17-4 PH yang diambil dari AKSteel mengenai karakteristik material didapatkan beberapa sifat material sebagai berikut:

- *Density* material : 7,78 g/cm³
- *Ultimate Tensile Strength* : 1379 MPa
- *Yield Tensile Strength* : 1275 MPa
- *Modulus Elasticity* : 1,97 x 10⁵ MPa
- *Bulk Modulus* : 1,4401 x 10¹¹ Pa
- *Poisson's Ratio* : 0,272
- *Shear Modulus* : 7,7437 x 10¹⁰ Pa
- *Specific Heat Capacity* : 0,46 kJ/kg/K
- *Thermal Conductivity* : 22,5 W/m-k

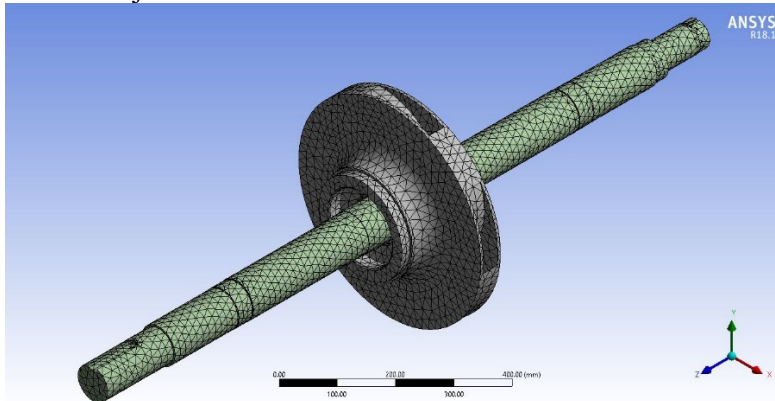
1	Contents of Engineering Data	Source	Description
2	Material		
3	17-4PH	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1	
Properties of Outline Row 3: 17-4PH			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	7.78	g cm^-3
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modulus an...	
8	Young's Modulus	1.97E+05	MPa
9	Poisson's Ratio	0.272	
10	Bulk Modulus	1.4401E+11	Pa
11	Shear Modulus	7.7437E+10	Pa
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
13	Interpolation	Linear	
14	Scale	1	
15	Offset	0	MPa
16	Strain-Life Parameters		
24	Tensile Yield Strength	1275	MPa
25	Compressive Yield Strength	1275	MPa
26	Tensile Ultimate Strength	1379	MPa

Gambar 4.7 Input Property Material 17-4 PH

4.3.2 Meshing

Meshing untuk poros yang sudah di *assembly* ditunjukkan pada gambar 4.8. *Meshing* menggunakan metode tetrahedrons dengan

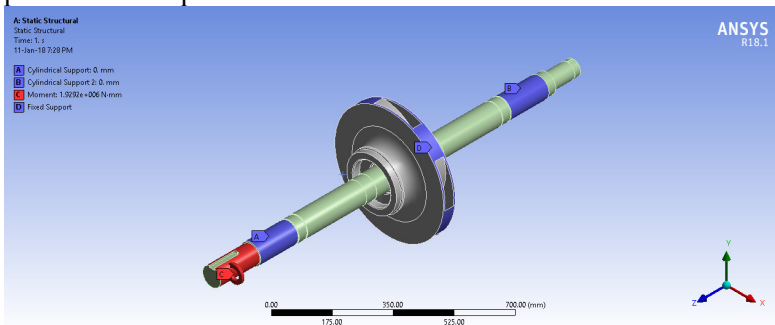
ukuran minimal 20 mm, menghasilkan *mesh* dengan jumlah *nodes* 71757 dan jumlah *elements* 41780.



Gambar 4.8 Meshing Poros

4.3.3 *Boundary Condition Finite Element Analysis*

Setelah selesai *input mechanical properties* material dan dilakukan meshing, poros diberi batas-batas sesuai dengan kondisi aktual saat poros beroperasi. Pemberian pembebanan torsi serta pemberian tumpuan.



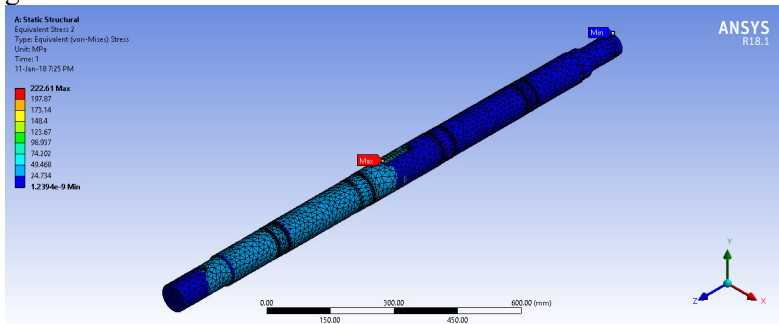
Gambar 4.9 *Boundary Condition Finite Element Analysis* Poros

Gambar 4.9 merupakan *boundary condition* yang dipakai di analisis ini. Moment gaya (torsi) pada elemen poros sebesar 1929.2 Nm sesuai dengan torsi aktual. Kondisi batas pada geometri yaitu

berupa *fixed support* dan *cylindrical support*. *Fixed support* diberikan pada bagian terluar dari impeller sedangkan untuk *cylindrical support* merupakan asumsi yang digunakan untuk menggantikan cara kerja bearing. *Cylindrical support* pertama dan kedua memiliki derajat kebebasan pada arah radial *fixed*, tangensial *free* dan axial *fixed*.

4.3.4 Hasil FEA dengan Pembebanan Torsi 1929,2 Nm

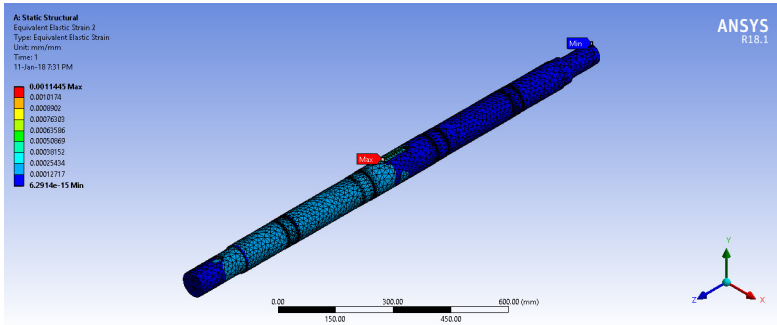
Setelah diberikan input dan dilakukan meshing sesuai dengan kondisi aktual dari poros pompa 107 JA maka dilakukan *solve* pada *software finite element*. Hasil dari simulasi FEA dapat dilihat pada gambar 4.10.



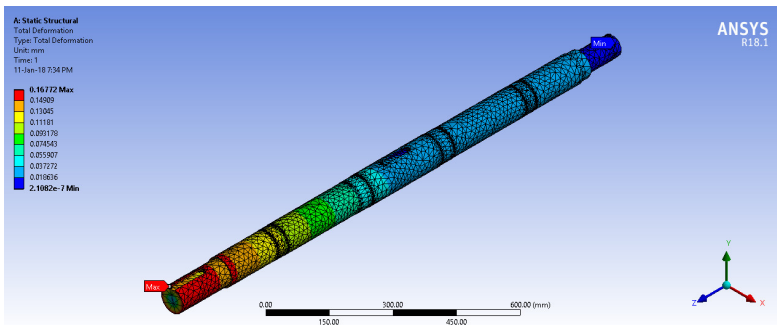
Gambar 4.10 Hasil *Equivalent Stress Max* pada Pembebanan Torsi 1929,2 Nm

Gambar 4.10 menunjukkan hasil dari simulasi dengan pembebanan torsi sebesar 1929,2 Nm. Pembebanan ini didasari dari daya aktual yang dibutuhkan poros untuk berputar sebagai nilai pembebanan. Hasil distribusi tegangan *equivalent stress max* (*von misses*) menunjukkan daerah paling kritis pada poros terletak di rumah pasak sebesar 222,61 MPa. Berdasarkan *history* kerusakan yang terjadi, kerusakan berupa patahan disekitar rumah pasak dan pasak. Maka lokasi hasil simulasi FEA dengan lokasi letak patahan aktual telah sesuai. Gambar 4.11 menunjukkan hasil

dari *Equivalent Elastic Strain max* pada poros yaitu sebesar 0.0011445 mm/mm.



Gambar 4.11 Hasil *Equivalent Elastic Strain* pada Pembebanan Torsi 1929,2 Nm



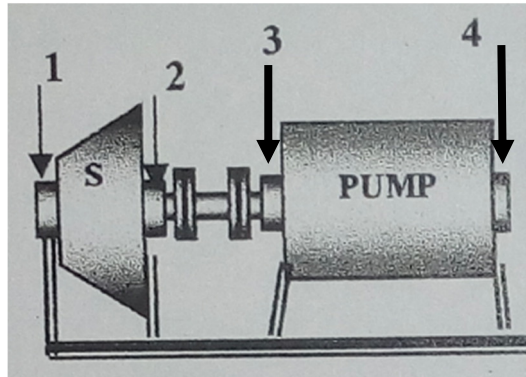
Gambar 4.12 Hasil *Total Deformation* pada Pembebanan Torsi 1929,2 Nm

Gambar 4.12 menunjukkan daerah yang mengalami total deformasi pada pembebanan torsi sebesar 1929,2 Nm. Deformasi maksimum yang terjadi sebesar 0.16772 mm pada bagian pusat torsi. Nilai hasil tegangan maksimum dari simulasi FEA pembebanan torsi sebesar 1929,2 Nm jika dibandingkan dengan nilai grafik S-N material pada gambar 4.5 masih berada dibawah batas *fatigue limit*. Hal ini menandakan bahwa dengan kondisi normal pembebanan torsi poros tidak akan menimbulkan *fatigue*

pada material sehingga kegagalan akibat pengaruh dari torsi pembebanan poros sangat kecil. Maka perlu dilakukan analisis lebih lanjut terkait penyebab kegagalan poros pompa 107 JA.

4.4 Analisis Poros dengan pengaruh Momen Bending

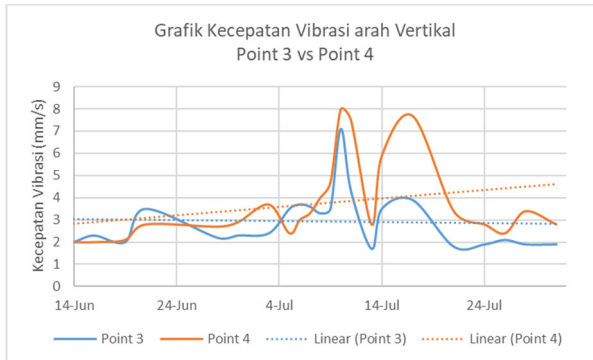
Hipotesa selanjutnya mengarah pada terjadinya momen bending pada rumah pompa sehingga poros menerima beban berlebih pada saat beroperasi. Hipotesa ini berdasarkan dari data kecepatan vibrasi antara point 3 dan point 4 mengalami perbedaan. Titik pengambilan data kecepatan vibrasi berdasarkan gambar 4.13 dibawah ini.



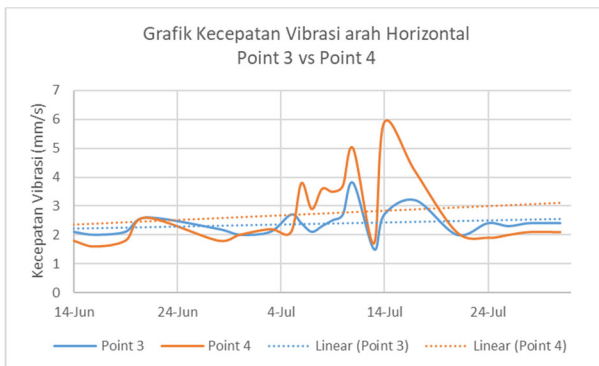
Gambar 4.13 Titik Pengambilan Data Kecepatan Vibrasi[1]

Gambar 4.14 dan gambar 4.15 menunjukkan trend kecepatan vibrasi arah vertikal dan horizontal pada point 3 dan 4 selama periode 14 Juni hingga 31 Juli 2017. Untuk melihat nilai per tanggal nya dapat dilihat pada bagian lampiran 6. Terjadi trend kenaikan kecepatan vibrasi setelah pergantian poros tanggal 10 Juni 2017 terlihat dari garis putus-putus pada grafik.

Dari gambar 4.14 dan gambar 4.15 tentang grafik kecepatan vibrasi arah vertikal dan horizontal terlihat bahwa terdapat perbedaan yang cukup besar antara point 3 dan 4, hal ini dapat mengindikasikan bahwa terdapat ketidaklurusan point 3 dan 4 pada poros.



Gambar 4.14 Grafik Kecepatan Vibrasi arah Vertikal Point 3 dan 4[1]



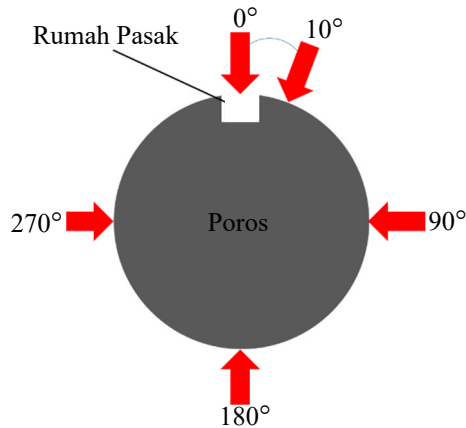
Gambar 4.15 Grafik Kecepatan Vibrasi arah Horizontal Point 3 dan 4[1]

Ketidaklurusan yang terjadi dapat diakibatkan saat pemasangan komponen baru terdapat kesalahan. Pada tanggal 18 April 2017 terjadi pergantian poros dan perbaikan rumah bearing. Penyebab kegagalan mengarah pada hasil perbaikan rumah bearing tersebut dikarenakan umur poros pompa menjadi relatif pendek dari sebelum perbaikan tanggal 18 April 2017. Adanya kemungkinan terjadi bending momen akibat ketidaklurusan poros

sangat besar sehingga diperlukan analisis lebih lanjut menggunakan FEA.

4.5 Analisis FEA dengan pengaruh Momen Bending

Berdasarkan pembahasan di subbab sebelumnya maka perlu untuk dilakukan analisis poros dengan pengaruh momen bending. Data geometri poros, *mechanical properties* material dan juga meshing pada analisis ini disamakan dengan analisis menggunakan pembebanan torsi sebelumnya. Namun ditambahkan *input force* untuk menimbulkan momen bending.

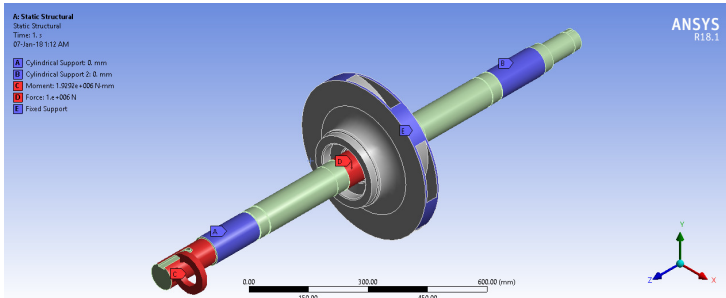


Gambar 4.16 Titik Pembebanan setiap 10°

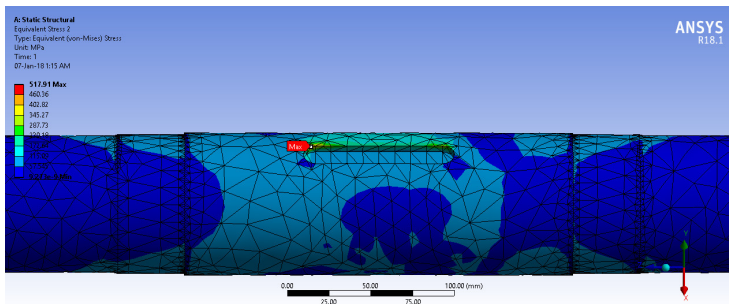
Input force divariasikan dengan menggunakan pembebanan 1000 KN dan 1381 KN pada setiap pembebanan 10° untuk mencari tegangan maksimum dan arah momen bending yang terjadi saat poros pompa beroperasi. Untuk ilustrasi pembebanan setiap 10° dapat dilihat pada gambar 4.16 tentang titik pemberian pembebanan setiap 10° dari 0° sampai 350°.

4.5.1 Hasil FEA dengan Pembebanan 1000 KN

Pada gambar 4.17 menunjukkan *input force*, torsi, *fixed support* dan *cylindrical support* yang digunakan pada pembebanan 1000 KN.



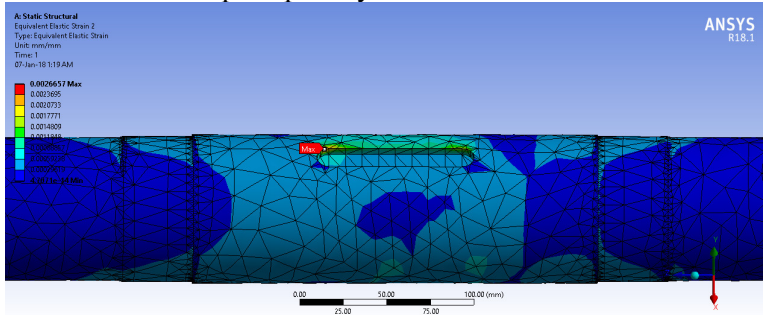
Gambar 4.17 *Boundary Condition* pada Pembebanan 1000 KN



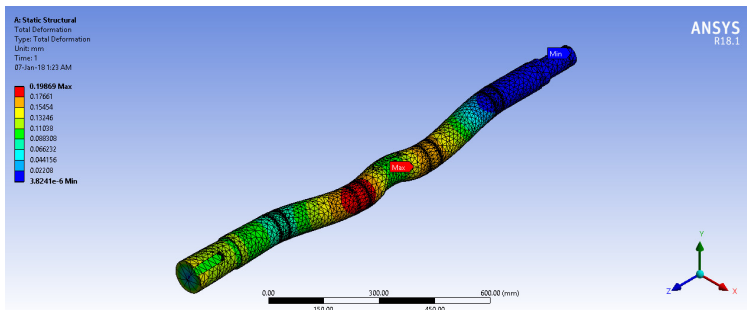
Gambar 4.18 Hasil *Equivalent Stress Max* pada Pembebanan 1000 KN dengan sudut 310°

Gambar 4.18 menunjukkan hasil dari simulasi dengan pembebanan 1000 KN dengan sudut pembebanan 310° . Hasil distribusi tegangan *equivalent stress max* (von misses) menunjukkan daerah paling kritis pada poros terletak di rumah pasak sebesar 517.91 MPa. Berdasarkan *history* kerusakan yang telah terjadi, kerusakan berupa patahan terjadi disekitar rumah pasak dan pasak maka dari hasil simulasi sudah menunjukkan lokasi patahan yang sesuai namun untuk nilai tegangan masih

belum mencapai *fatigue limit* material sesuai dengan grafik S-N pada gambar 4.5. Gambar 4.19 menunjukkan hasil dari *Equivalent Elastic Strain max* pada poros yaitu sebesar 0.0026657 mm/mm.



Gambar 4.19 Hasil *Equivalent Elastic Strain* pada Pembebanan 1000 KN dengan sudut 310°



Gambar 4.20 Hasil *Total Deformation* pada Pembebanan 1000 KN dengan sudut 310°

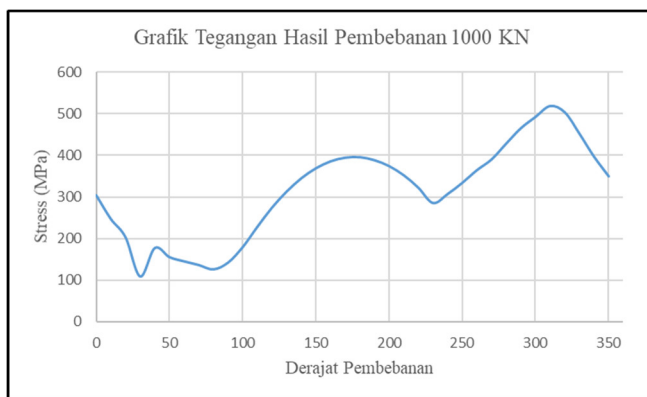
Gambar 4.20 menunjukkan daerah yang mengalami total deformasi pada pembebanan 1000 KN. Deformasi maksimum yang terjadi sebesar 0.19869 mm. Hasil tegangan, regangan dan *total deformation* pada setiap 10° pembebanan 1000 KN dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tabel hasil simulasi FEA pada pembebanan 1000 KN

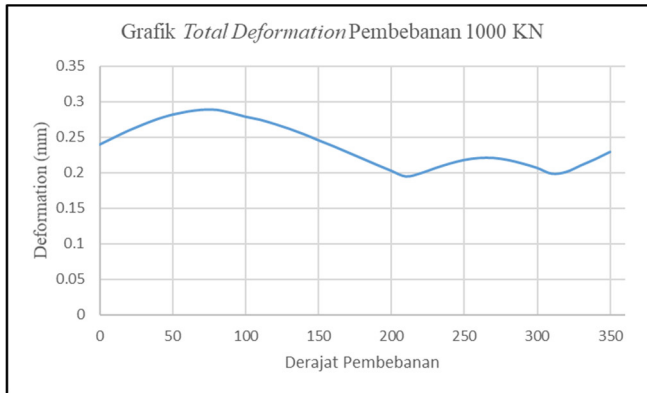
Pembebanan 1000 KN				
No	Derajat	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Total Deformation (mm)
1	0	303.94	0.0015672	0.2394
2	10	246.85	0.0012847	0.24934
3	20	202.86	0.0010602	0.25903
4	30	109.04	0.00096726	0.26753
5	40	177.4	0.00090328	0.27525
6	50	155.48	0.00079205	0.28123
7	60	145.32	0.00074323	0.28539
8	70	136.48	0.00069892	0.28794
9	80	126.08	0.00067862	0.28788
10	90	142.21	0.00073453	0.28364
11	100	179.33	0.00093047	0.27819
12	110	227.94	0.0011824	0.27401
13	120	274.02	0.0014203	0.26803
14	130	312.64	0.0016192	0.26141
15	140	344.41	0.0017822	0.25387
16	150	368.54	0.0019057	0.24539
17	160	385.13	0.0019899	0.2373
18	170	394.02	0.0020344	0.22857
19	180	395.22	0.002039	0.2199
20	190	387.95	0.0019999	0.21108
21	200	373.87	0.0019254	0.20265
22	210	351.83	0.0018098	0.19478
23	220	321.91	0.0016533	0.19916

24	230	285.27	0.001476	0.20636
25	240	306.81	0.0015795	0.21276
26	250	333.71	0.001711	0.21782
27	260	364.23	0.001862	0.22058
28	270	389.82	0.0019918	0.22065
29	280	428.01	0.0021886	0.21776
30	290	464.71	0.0023799	0.21274
31	300	491.92	0.002525	0.20673
32	310	517.91	0.0026657	0.19869
33	320	502.74	0.0025961	0.20119
34	330	451.55	0.002327	0.2103
35	340	396.21	0.0020393	0.21914
36	350	349.33	0.0017933	0.22909

Dari tabel 4.2 didapatkan nilai tegangan dan regangan maksimum terjadi pada pembebanan dengan sudut 310° . Besar tegangan dan regangan maksimumnya adalah 517,91 MPa dan 0,0026657 mm/mm. Sedangkan deformasi total terbesar pada pembebanan dengan sudut 70° , besarnya 0.28794 mm.



Gambar 4.21 Grafik Tegangan pada Pembebanan 1000 KN



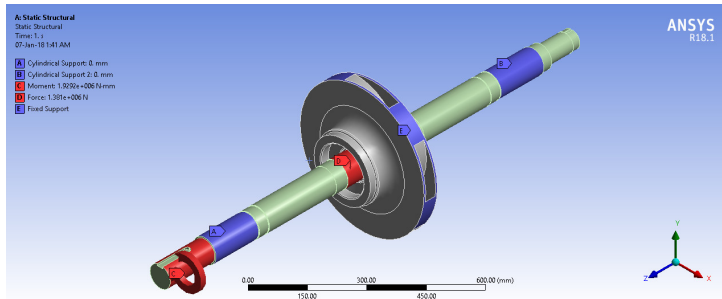
Gambar 4.22 Grafik *Total Deformation* Pembebanan 1000 KN

Gambar 4.21 dan gambar 4.22 merupakan grafik tegangan dan *total deformation* dengan pembebanan 1000 KN pada setiap 10° . Dapat dilihat bahwa pada pembebanan setiap 10° hasil tegangan yang terjadi disekitaran rumah pasak memiliki nilai yang berbeda. Hal ini dikarenakan nilai tegangan maksimum pada rumah pasak tidak tepat berada pada satu titik namun tersebar di sekitar rumah pasak itu sendiri. Namun nilai tegangan di setiap pembebanan tidak mengindikasikan terjadi patah dikarenakan nilai tegangan maksimum yang terjadi tidak mencapai nilai *fatigue limit* material. Hal ini berdasarkan perbandingan nilai tegangan maksimum pada simulasi dengan nilai *fatigue limit* material pada gambar 4.5

Gambar 4.22 menunjukkan nilai *total deformation* yang dialami poros akibat momen bending. Terlihat dari grafik bahwa pada setiap pembebanan yang diberikan, poros mengalami deformasi yang berbeda. Namun dengan nilai deformasi terbesar tidak menunjukkan adanya tegangan terbesar yang dapat menyebabkan patahan. Sehingga dapat disimpulkan pada pembebanan 1000 KN tidak ditemukan tegangan dan deformasi yang menyebabkan terjadi patahan pada poros.

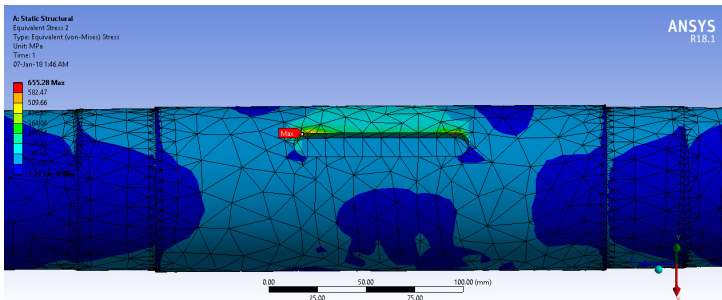
4.5.2 Hasil FEA dengan Pembebanan 1381 KN

Pada gambar 4.23 menunjukkan *input force*, torsi, *fixed support* dan *cylindrical support* yang digunakan pada pembebanan 1381 KN.

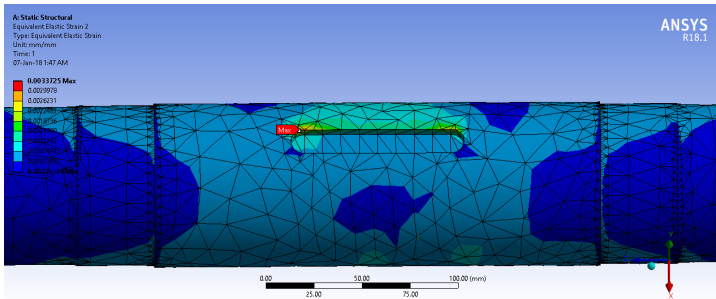


Gambar 4.23 Boundary Condition pada Pembebanan 1381 KN

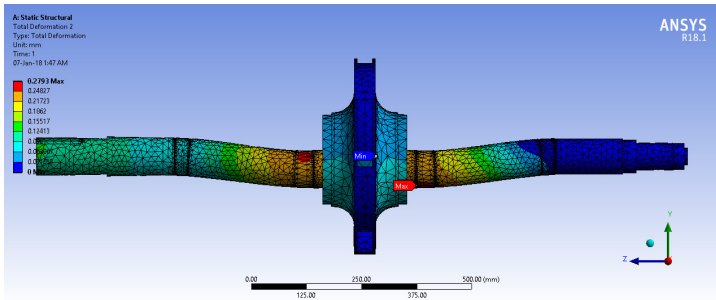
Gambar 4.24 Menunjukkan hasil dari simulasi dengan pembebanan 1381 KN dengan sudut pembebanan 310° . Hasil distribusi tegangan *equivalent stress max* (von misses) menunjukkan daerah paling kritis pada poros terletak di rumah pasak sebesar 655.28 MPa. Berdasarkan *history* kerusakan yang telah terjadi, kerusakan berupa patahan terjadi disekitar rumah pasak dan pasak sesuai dengan gambar 4.24. Gambar 4.25 menunjukkan hasil dari *Equivalent Elastic Strain max* pada poros yaitu sebesar 0.0033725 mm/mm.



Gambar 4.24 Hasil *Equivalent Stress Max* pada Pembebanan 1381 KN dengan sudut 310°

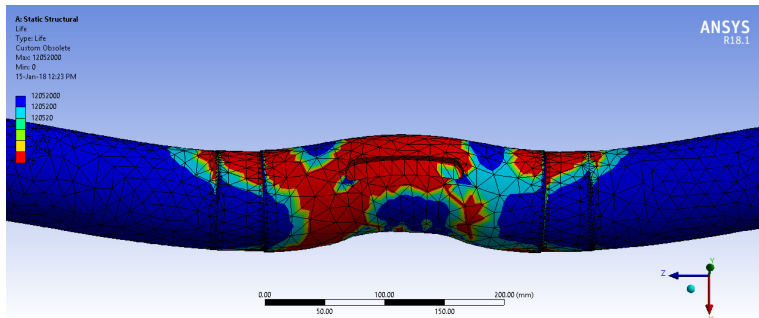


Gambar 4.25 Hasil *Equivalent Elastic Strain* pada Pembebanan 1381 KN dengan sudut 310°



Gambar 4.26 Hasil *Total Deformation* pada Pembebanan 1381 KN dengan sudut 310°

Gambar 4.26 menunjukkan daerah yang mengalami total deformasi pada pembebanan 1381 KN. Deformasi maksimum yang terjadi sebesar 0.2793 mm.



Gambar 4.27 Hasil *life cycles* pada pembebanan 1381 KN dengan sudut 130°

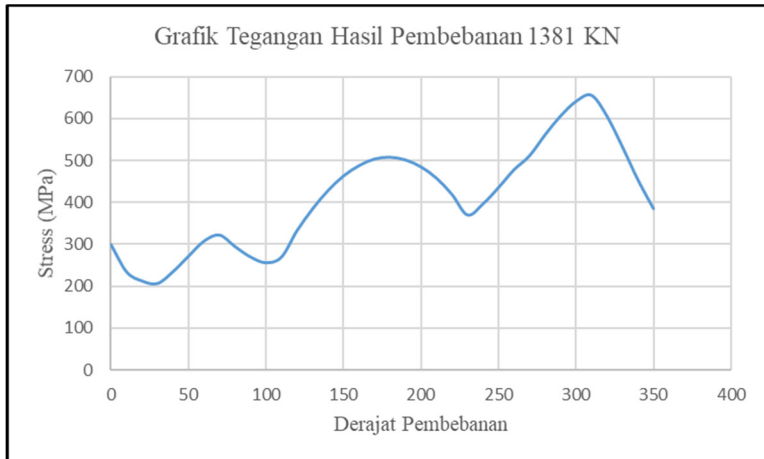
Gambar 4.27 menunjukkan hasil *life cycles* pada pembebanan 1381 KN dengan sudut 130° didapatkan nilai life nya sebesar 12.052.000 *cycles* hal ini sesuai dengan grafik S-N pada gambar 4.5. Hasil tegangan, regangan dan *total deformation* pada setiap 10° pembebanan 1381 KN dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Tabel hasil simulasi FEA pada pembebanan 1381 KN

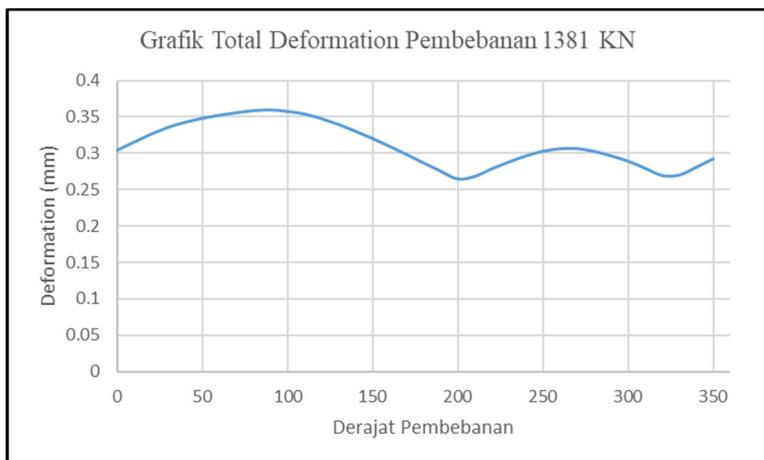
Pembebanan 1381 KN				
No	Derajat	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Total Deformation (mm)
1	0	298.36	0.0015638	0.30388
2	10	233.32	0.0011857	0.31487
3	20	211.46	0.0010745	0.32598
4	30	205.46	0.001045	0.33524
5	40	233.9	0.0011908	0.34223
6	50	270.76	0.0013825	0.34764
7	60	306.69	0.0015651	0.35186
8	70	321.18	0.0016452	0.35526
9	80	293.78	0.0015044	0.35812

10	90	268.87	0.0013784	0.35901
11	100	255.09	0.0013112	0.35709
12	110	268.77	0.0014038	0.35354
13	120	331.79	0.0017284	0.34712
14	130	383.7	0.0019952	0.33924
15	140	427.6	0.0022204	0.32986
16	150	462.46	0.0023985	0.31996
17	160	487.16	0.0025237	0.3092
18	170	503.01	0.0026029	0.29805
19	180	507.37	0.0026227	0.28648
20	190	500.83	0.0025861	0.27518
21	200	484.22	0.0024973	0.26455
22	210	457.19	0.0023546	0.26804
23	220	418.31	0.0021504	0.27839
24	230	369.18	0.0018933	0.28767
25	240	395.74	0.0020331	0.29607
26	250	434.66	0.0022242	0.30245
27	260	477.37	0.0024365	0.30591
28	270	510.68	0.0026054	0.30611
29	280	560.78	0.0028638	0.30236
30	290	605.71	0.0030991	0.29625
31	300	640.65	0.0032867	0.28892
32	310	655.28	0.003372	0.2793
33	320	605.44	0.0031217	0.26928
34	330	531.8	0.0027364	0.26986
35	340	453.06	0.0023242	0.28055
36	350	384.56	0.0019842	0.29215

Dari tabel 4.3 didapatkan nilai tegangan dan regangan maksimum terjadi pada pembebanan dengan sudut 310° . Besar tegangan dan regangan maksimumnya adalah 655,28 MPa dan 0,003372 mm/mm. Sedangkan deformasi total terbesar terjadi pada pembebanan dengan sudut 90° dengan besar 0.35901 mm.



Gambar 4.28 Grafik Tegangan pada Pembebanan 1381 KN



Gambar 4.29 Grafik *Total Deformation* Pembebanan 1381 KN

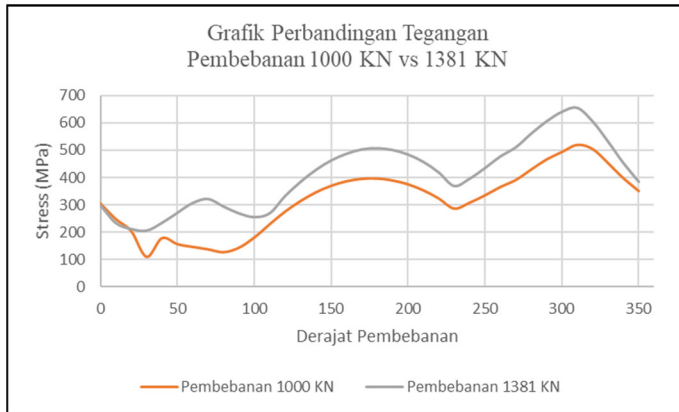
Gambar 4.28 dan gambar 4.29 merupakan grafik tegangan dan *total deformation* dengan pembebanan 1381 KN pada setiap 10° . Grafik tegangan menunjukkan tegangan mengalami fluktuasi pada setiap pembebanan. Hal ini dikarenakan nilai tegangan maksimum pada rumah pasak tidak tepat berada pada satu titik namun tersebar di sekitar rumah pasak itu sendiri.

Pada gambar 4.28 tentang grafik tegangan hasil pembebanan 1381 KN didapatkan nilai tegangan maksimum sebesar 655,28 MPa dengan sudut pembebanan sebesar 310° . Jika dibandingkan dengan nilai tegangan maksimum pada gambar 4.5 tentang grafik S-N material, maka nilai tegangan maksimum dengan pembebanan 1381 KN telah melwati nilai *fatigue limitnya* hal ini menandakan bahwa poros mengalami patahan.

Gambar 4.29 menunjukkan nilai *total deformation* yang dialami poros akibat momen bending. Terlihat dari grafik bahwa pada setiap pembebanan yang diberikan, poros mengalami deformasi yang berbeda. Nilai deformasi terbesar tidak menunjukkan adanya tegangan terbesar yang dapat menyebabkan patahan. Namun deformasi yang menyebabkan tegangan maksimum sehingga patah adalah sebesar 0,2793 sehingga dapat disimpulkan pada pembebanan 1381 KN ditemukan tegangan dan defomarsi yang menyebabkan terjadi patahan pada poros.

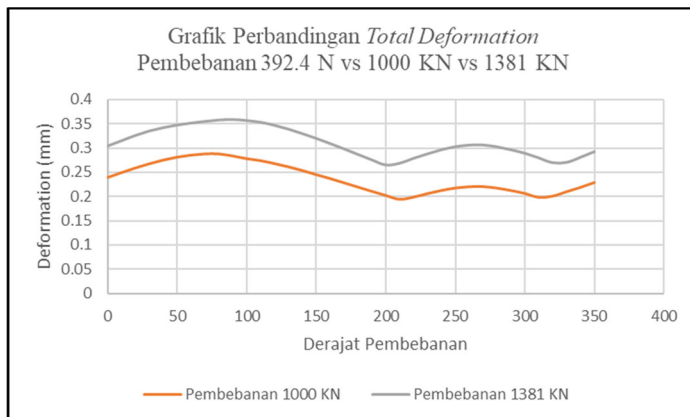
4.5.3 Perbandingan Pembebanan 1000 KN dan 1381 KN

Setelah dilakukan simulasi dengan pembebanan 1000 KN dan 1381 KN pada poros didapatkan kesimpulan semakin besar pembebanan yang diberikan nilai tegangan maksimum yang diterima poros juga mengalami peningkatan. Hal ini dapat dilihat dari gambar 4.29 grafik perbandingan tegangan pembebanan 1000 KN dan 1381 KN.



Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Tegangan

Gambar 4.30 menunjukkan tegangan yang diberikan pembebanan 1381 KN lebih besar dibandingkan pembebanan 1000 KN pada setiap sudut pembebanan. Nilai tegangan untuk pembebanan 1000 KN dan 1381 KN memiliki nilai tegangan maksimum pada sudut pembebanan 310° . Nilai maksimum terjadi pada pembebanan 310° dikarenakan arah pembebanan searah dengan arah tegangan yang dihasilkan dari torsi poros.



Gambar 4.31 Grafik Perbandingan *Total Deformation*

Gambar 4.31 menunjukkan *total deformation* yang terjadi pada setiap sudut pembebanan dengan pembebanan 1000 KN dan 1381 KN. Terlihat dari grafik bahwa pola pembebanan 1000 KN dengan 1381 KN memiliki pola yang sama.

4.6 Pembahasan Hasil Analisis

Setelah dilakukan analisis dengan melihat pola dan letak patahan, grafik *fatigue curve* serta simulasi FEA dilakukan pembahasan analisis. Poros pompa 107 JA mengalami kegagalan *fatigue*, hal ini terlihat dari pola patahan yang memiliki *crack propagation* sebelum terjadi *final fracture*.

Dugaan awal, patahan diakibatkan oleh torsi pompa namun saat dilakukan simulasi FEA hasil tegangan maksimum tidak melebihi nilai *fatigue limit* material. Nilai tegangan maksimum saat terjadi patahan didapatkan dari hasil grafik S-N material. Poros dengan dengan *cycles* sebesar 133.171.200 *cycles*, 116.524.800 *cycles*, 12.484.800 *cycles* mengalami *fracture* dengan tegangan 655 MPa.

Dugaan selanjutnya mengarah pada patahan akibat momen bending. Hal ini dikuatkan dengan adanya perbaikan pada *house bearing* dari data *history* kerusakan. Saat dilakukan perbaikan *house bearing* terjadi *misalignment* dalam memasang poros pompa pada rumah pompa. Maka dari itu dilakukan simulasi FEA untuk menentukan pengaruh momen bending pada poros. Simulasi FEA dilakukan dengan memberikan variasi pembebanan 1000 KN dan 1381 KN pada setiap 10° sudut pembebanan. Kemudian didapatkan tegangan maksimum pada masing-masing pembebanan. Hasil tegangan maksimum dari simulasi dibandingkan dengan tegangan maksimum dari grafik S-N. Sehingga didapatkan bahwa poros mengalami momen bending dengan defleksi sebesar 0.2793 mm sehingga terbentuk tegangan yang melebihi tegangan *fatigue limit* material.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat dibuat diharapkan dapat menjawab dari tujuan diadakannya penelitian ini.

1. *Misalignment* pada poros pompa 107 JA terjadi akibat adanya perbaikan *house bearing* yang tercatat pada *history* kerusakan pompa 107 JA. Dimana hal ini menjadi penyebab timbulnya momen bending. Momen bending akan dihitung sebagai beban berlebih saat poros berputar. Jika poros menerima beban bending secara terus menerus maka mengakibatkan poros mengalami *fatigue failure*.
2. Besar nya defleksi yang menyebabkan momen bending pada poros adalah sebesar 0.2793 mm dengan tegangan maksimum yang terjadi adalah 655,28 MPa. Nilai ini didapat dari simulasi FEA yang dilakukan dengan pembebanan 1381 KN dengan sudut pembebanan 310°.
3. Perbedaan trend vibrasi yang cukup tinggi pada poros point 3 dan 4 merupakan akibat dari ketidaklurusan poros.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada pihak mekanik Pabrik I Unit Amoniak PT. Petrokimia Gresik adalah sebagai berikut:

1. Pencatatan *history* kerusakan pada *equipment* terutama pada pompa *benfield* 107 JA dilakukan lebih detail dan dilengkapi dengan kronologis.
2. Jika terdapat kecepatan vibrasi yang cukup tinggi, maka disarankan untuk men-*switch* kepada pompa yang *standby*. Untuk dilakukan analisa lebih dini sebelum terjadi patahan.
3. Melakukan pengecekan *alignment* pada poros apabila dilakukan perbaikan *house bearing* pada point 3 dan 4 karena dapat menyebabkan momen bending.

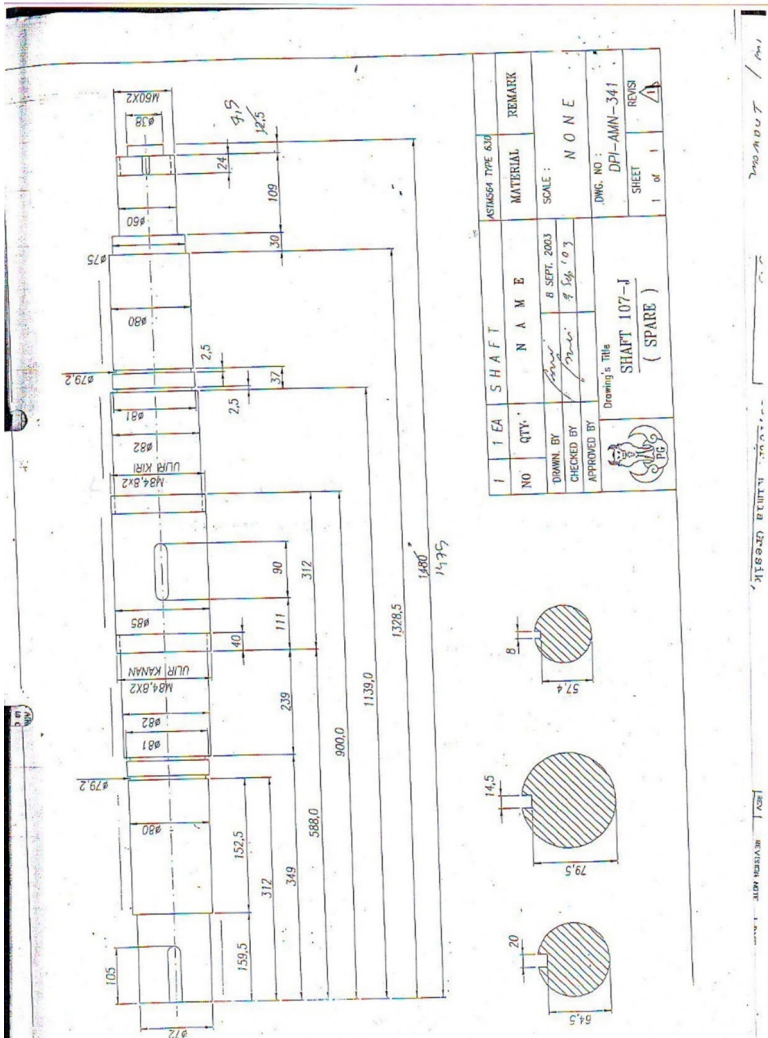
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Database** PT. Petrokimia Gresik. Jawa Timur
- [2] Suherman, Wahid. 1987. **Pengetahuan Bahan**. Surabaya: Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Candra, Devi. 2009. **Kaji Eksperimen Peningkatan Umur Lelah Poros Beralur Dengan Penambahan Alur Bantu**. Padang: Teknik Mesin Universitas Andalas.
- [4] Budynass-Nisbet. ***Shingley's Mechanical Engineering Design Eight Edition***. McGraw-Hill.
- [5] Sularso dan K. Suga. 2004. **Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin**. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [6] Setiawan, Angga. 2016. **Analisa Kegagalan Poros Pompa *Centrifugal Multistage* (GA101A) Sub Unit Sintesa Urea**. Surabaya: Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7] ASM Handbook Committee. 2002. ***ASM Metals Handbook Vol. 11; Failure Analysis and Prevention***. Ohio, USA: ASM International.
- [8] Nurhadyan, Galih. 2011. **Analisa Kegagalan *Shaft Stainless Steel 17-4 PH* Pada Pompa Sentrifugal 107-JC Di Pabrik 1 Plant Amonnia PT. Petrokimia Gresik**. Teknik Material Metalurgi-ITS Surabaya.
- [9] Bachche, Pramod J. dan Tayade, R.M. 2013. ***Finite Element Analysis of Shaft of Centrifugal Pump***. Mumbai India: Mechanical Dept. V.J.T.I.
- [10] The Boeing Company. ***Fatigue Properties of 17-4 PH and 15-5 PH Steel in the H900 and H1050 Condition***. Pennsylvania.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

67



Lampiran 2 Spesifikasi Pompa

KELLOGG
W

CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET 40-03576

Form 10009 (5/80)

NUMBER	0	1	2	3
Originator	By	Date	By	Date
Checker	By	Date	By	Date
Approved	By	Date	By	Date

Job No. 6695-01	Page 1 of 2
Client PT. PETROKIMIA GRESIK	
Location GRESIK - INDONESIA	
Unit 1550 MTPD AMMONIA	
Item No. 107 JAI78/JC	
Service SEMI LEAN BENFIELD SOLUTION PUMP	
Requestion No. 6695-01D1-1310-01	

1 DESIGN, MANUFACTURE & TESTING SHALL CONFORM TO M.W.K. SPECIFICATION	
2 INFORMATION TO BE COMPLETED: <input type="checkbox"/> BY PURCHASER <input type="checkbox"/> BY MANUFACTURER	
3 No. Pumps Required 2	Item No. 107-JB1/JCT Provided By PUMP VENDOR MTD. By PUMP VENDOR
4 No. Hyd. Turbines Required 2	Item No. 107-JAHT Provided By PUMP VENDOR MTD. By PUMP VENDOR
5 Pump MFR Dresser Pump	Size and Type 107A LPLD-18 No. Stages ONE
6 Serial No.	
OPERATING CONDITIONS, EACH PUMP	
7 Liquid SEMI LEAN BENFIELD M/Wtr at PT. Nor. 582.3	Rated 40.5
8 SOLUTION (Rate 2) Disch. Press. K/g/cm ² G	Rated 36.3
9 PT. C. Nor. 111.1 Max. Suct. Press. K/g/cm ² Max.	Rated 1.9
10 So. Gr. at PT. 1.249 Disch. Press. K/g/cm ² Nor.	Rated 3.44
11 Visc. Press. at PT. K/g/cm ² A 1.55 DWT Head M. Nor.	Rated 275.8
12 Visc. at PT. (SSA) CP 0.56 NPSHA at Bottom of Baseplate M.	5.6 NPSHR (Water at Bottom of Baseplate) M. 5.9
13 Compressor Version Caused by	Hyd. KW 11.45 M
14 NPSHA INCLUDES SAFETY FACTOR; ACTUAL = 11.45 M	Rotation (Viewed from Coupling End) CCW
15	Suction Specific Speed 11,350
CONSTRUCTION	
16 NOZZLES	CLASS A-2
17 SIZE 305 mm 600 #	LOCATING Side
18 DISCHARGE 10 254 mm 600 #	LOCATING Side
19 CASE - MOUNT: <input type="checkbox"/> Hor. <input type="checkbox"/> Vert. <input type="checkbox"/> Foot	
20 - SPLIT: <input type="checkbox"/> Horiz. <input type="checkbox"/> Radial	
21 - TYPE: <input type="checkbox"/> Vertical <input type="checkbox"/> Single <input type="checkbox"/> Double <input type="checkbox"/> Diffuser	
22 - PRESS: <input type="checkbox"/> MAWP 30 K/g/cm ² G at Amb. °C	
23 <input type="checkbox"/> Hydrotest 105 K/g/cm ² G	
24 IMPELLER - DIA. 450/450/362 mm	
25 - TYPE: <input type="checkbox"/> Closed <input type="checkbox"/> Open	
26 - SUCTION: <input type="checkbox"/> Single <input type="checkbox"/> Double	
27 - MOUNT: <input type="checkbox"/> Between Bearings <input type="checkbox"/> Overhung	
28 BEARINGS - TYPE / IDENTIFYING No. (or Size)	
29 <input type="checkbox"/> Radial SLEEVE (Rating oil)	
30 <input type="checkbox"/> Thrust 2 3/16 86 (BALL) 55AH	
31 Lube: <input type="checkbox"/> Grease <input type="checkbox"/> Oil <input type="checkbox"/> Water <input type="checkbox"/> Purge	
32 COUPLINGS: MFR / MODEL / SIZE / SPACER LENGTH	
33 <input type="checkbox"/> Thomas or Equal FLEXIBLE DIA	
34 <input type="checkbox"/> Rigid KW in	
35 <input type="checkbox"/> Pump MFR <input type="checkbox"/> Driver MFR <input type="checkbox"/> Purchaser	
36 SHAFT SEALING DATA	
37 <input type="checkbox"/> Mech. Seal: API Class Code BSTFL	
38 <input type="checkbox"/> MFR / Type DURAMETALIC APD	
39 <input type="checkbox"/> MFR Code EUSERT	
40 <input type="checkbox"/> Packing: MFR / Type	
41 Size / No. of Rings	
42 APPROX. WEIGHT: Pump & Base 2300 Kg	
43 Pump & Base 1500 Kg	
44 Base 800 Kg	
SHOP TESTS	
45 REG. WTT. OBS. By *	
46 Hyd. <input type="checkbox"/> WTT	
47 Perf. <input type="checkbox"/> WTT	
48 NPSH <input type="checkbox"/> WTT	
49 Other	
* M.W.K. Inspector, E.M.W.K. Engineer, C. Client / Third Party	
REMARKS: (1) VENDOR TO SELECT INDIVIDUAL PUMP AT FACTORY TO MEET PT. THE TOTAL PUMPING REQ'T. STATED ON PG. 1.	
(2) PUMP TO 23A 15A WILL BE NORMALLY OPERATING (PUMP 10730 WILL BE SPARE.	
(3) EXTERNAL SEAL FLUID: LEAN BENFIELD SOLUTION WITH H2O	
(4) NOT ASSUMING CARBONATE SOLUTION	
(5) ONE PUMP ONLY IF THE PUMPS ARE IDENTICAL	

Lampiran 3 Spesifikasi Pompa

```

*-----*
* INGERSOLL *CERT. NR: CAS29/9TEST NR.11 -JOB NR. : 5249527 *
* DRESSER *PUMP TYPE:10/12 LPLD 18 -SERIAL NR.:D34028
* PUMPS *CUST:PT PETROKIMIA -P.O.:061101/0
*****-ITEM:107-S -SPEC.:API 610
*****
* PERFORMANCE DATA * MEASURED & CALCULATED CONSTANTS
*
* CAPACITY :582.3 CU.M/H * MOTOR :NR*34
* HEAD :272.8 M * WATER T° :21 °C
* ABS POWER :715 KW(SP.GR.) * ATM.PRESSURE:10.25 M
* RPM :2950 * VAP.PRESSURE: 0.25 M
* EFFICIENCY:80 % * DISCH.NOZZLE:10.0 INCH
* NPSHR : 5.90 M * SUCT.NOZZLE:12.0 INCH
* LIQUID :LEAN SOLUT. * K WATTMETER : 9000
* SPEC.GRAV.:1.2490KG/DM3 * K TANK : 0
* PUMP TEMP.:111°C * K VENT/DIAPH: 68.690/ 0.000
* VISCOSITY : * K NPSH :0.00
*****
* MEASURED VALUES * VIBRAT:MM/SEC-PK
* NR RPM H MM. T DISCH SUCT WATT1 WATT2 MOT * D.E. * N.D.E.
* HG SEC H1 M H2 M READ READ EFF * VT-BOR * VT-BOR-AJ
*
*A 2971 90 0.0 270.0 -2.80 47.0 23.6 95.6* *
*B 2976 74 0.0 280.5 -2.45 43.4 22.6 95.6* *
*C 2978 40 0.0 300.0 -2.37 38.2 19.1 95.6* *
*D 2985 18 0.0 308.5 -2.25 31.9 14.7 95.6* *
*E 2989 0 0.0 322.0 -2.10 23.3 9.3 94.7* *
*1 2971 90 0.0 261.0 -3.40 0.0 0.0 0.0* *
*2 2976 74 0.0 270.5 -4.62 0.0 0.0 0.0* *
*3 2978 40 0.0 288.0 -5.75 0.0 0.0 0.0* *
*4 2985 18 0.0 295.5 -6.75 0.0 0.0 0.0* *
*
*
*
*
*
*
*
*
*****
* CALCULATED VALUES * VALUES CONVER.TO NOMINAL SPEED
* NR CAP. KIN. T.D.H. POWER NPSH * CAP. T.D.H. POWER NPSH PUMP
* CU.M/H ENER M. ABS.KW M. * CU.M/H M. ABS.KW M. EFF.
*
*A 651.7 0.34 273.1 607.4 0.00 * 647.1 269.3 742.7 0.00 79.8
*B 590.9 0.27 283.2 567.9 0.00 * 585.7 278.3 690.9 0.00 80.3
*C 434.4 0.15 302.5 493.0 0.00 * 430.3 296.8 598.6 0.00 72.6
*D 291.4 0.07 310.8 400.9 0.00 * 288.0 303.6 483.3 0.00 61.6
*E 0.0 0.00 324.1 277.8 0.00 * 0.0 315.7 333.6 0.00 0.0
*1 651.7 0.34 264.7 0.0 6.91 * 647.1 261.0 0.0 6.81 0.0
*2 590.9 0.27 275.4 0.0 5.64 * 585.7 270.6 0.0 5.54 0.0
*3 434.4 0.15 293.9 0.0 4.39 * 430.3 288.4 0.0 4.31 0.0
*4 291.4 0.07 302.3 0.0 3.31 * 288.0 295.3 0.0 3.23 0.0
*
*
*
*
*
*
*
*
*****
*NOTE:BRG.TEMP.:CS.42°C;OPP.CS.45°C;AMB.20°C * IMP.DWG.:CM162906
* * IMP.DIA.:450 MM
* * IMP.MAT.:CB7CUI
*
*
*
* TEST HAS BEEN WITNESSED BY:
* DATE 04 DEC 95 CUST.SIGN.
*
*

```

TEAM DET 01
CONFORME

Lampiran 4
Spesifikasi Larutan *Benfield*

MMK JOB 8895-01
PT Petrokimia Gresik
normal operation
03-DEC-1990

1

STREAM #	✓ 22 PROCESS COND. WATER	✓ 24 RICH BENFIELD SOLUTION	✓ 25 SEMI- LEAN BENFIELD
	LIQUID	LIQUID	LIQUID
TEMPERATURE, C	92.2	115.6	111.1
PRESSURE, KG/CM ² A	33.0	33.8	32.9
FLOW, KG/HR	54363	1730373	1454294
DENSITY, KG/M ³	963.8	1200.1	1246.8
FLOW, M ³ /HR	56.4	1373.2	1166.4
CARBONATE -Fc		0.88	0.42

Lampiran 5
Tabel *Cycles dan Stress* Material 17-4 PH

Cycles to failure x 10 ⁶	Stress (Mpa)
0.082	896.31
0.184	827.37
0.264	758.42
0.795	723.95
1.622	723.95
1.952	689.47
3.063	672.24
3.098	668.79
12.052	655

Lampiran 6
Tabel Kecepatan Vibrasi Point 3 dan Point 4
V=Vertikal , H=Horizontal , A=Axial

Tanggal	P3V (mm/s)	P3H (mm/s)	P3A (mm/s)	P4V (mm/s)	P4H (mm/s)	P4A (mm/s)
14-Jun	2	2.1	1.6	2	1.8	1.2
16-Jun	2.3	2	1.8	2	1.6	1.4
19-Jun	2	2.1	1.6	2.1	1.8	1.3
21-Jun	3.5	2.6	1.5	2.8	2.6	1.3
28-Jun	2.2	2.2	1.8	2.7	1.8	1.4
30-Jun	2.3	2	1.6	2.9	2	1.9
03-Jul	2.4	2.1	1.8	3.7	2.2	2.5
05-Jul	3.5	2.7	2.1	2.4	2.1	1.6
06-Jul	3.7	2.4	2.3	3	3.8	1.5
07-Jul	3.6	2.1	2.5	3.3	2.9	2.2
08-Jul	3.3	2.3	2.6	4	3.6	2
09-Jul	3.5	2.5	2.7	4.7	3.5	1.8
10-Jul	7.1	2.7	3	8	3.7	1.9
11-Jul	4.3	3.8	3.9	7.5	5	3.7
13-Jul	1.7	1.5	1.7	2.8	1.7	1.3
14-Jul	3.5	2.7	2.6	5.9	5.91	1.5
17-Jul	3.9	3.2	2.7	7.7	4.2	1.9
21-Jul	1.8	2	1.8	3.4	2.1	2
24-Jul	1.9	2.4	1.8	2.8	1.9	1.6
26-Jul	2.1	2.3	1.7	2.4	2	1.7
28-Jul	1.9	2.4	1.8	3.4	2.1	1.6
31-Jul	1.9	2.4	1.8	2.8	2.1	1.7

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Romario Julion Sianturi, dilahirkan pada tanggal 18 Juli 1994 di Pematang Siantar. Merupakan anak semata wayang dari pasangan Selamat Tua Sianturi dan Suryani Marpaung. Penulis telah menempuh pendidikan dasar dan menengah di SDN 15 Pagi Jakarta, SMPN 52 Jakarta dan SMAN 50 Jakarta.

Setelah lulus dari SMA pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan tingginya di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS melalui jalur SNMPTN Tulis, dengan mengambil bidang studi Sistem Sistem Rekayasa Industri. Selama menjadi mahasiswa, penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT Dirgantara Indonesia dan PT PJB Paiton 9, sebelum akhirnya melakukan penelitian tugas akhir di PT Petrokimia Gresik.

Penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan dan kepanitiaan *event* mahasiswa dengan menjadi Koordinator Publikasi Mechom 2013, Koordinator Dana Mechit 2014 serta menjadi staff ahli Badan Semi Otonom *Big Event* HMM 2014-2015. Penulis juga mengikuti berbagai pelatihan manajemen diri, kegiatan, dan organisasi. Penulis dapat dihubungi melalui *email* berikut : **romariojees@gmail.com**